

VŠB-Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Posouzení ulice Palackého ve Vsetíně a pravobřežního svahu řeky  
Bečvy

The Assessment of the Palackého Street and the Right Bank Slope  
of the Bečva River situated in Vsetín

Student: Bc. Roman Černý

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Barbara Luňáčková, Ph.D.

Ostrava 2015

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Roman Černý**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T035 Geotechnika  
Téma: Posouzení ulice Palackého ve Vsetíně a pravobřežního svahu řeky Bečvy

The Assessment of the Palackého Street and the Right Bank Slope of the  
Bečva River situated in Vsetín

Zásady pro vypracování:

1. Inženýrsko-geologická a hydrogeologická charakteristika lokality.
2. Ověření současného stavu.
3. Analýza vzniku příčin.
4. Vypracování návrhu stabilizačních opatření.
5. Závěrečná analýza výsledků řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Abramson, L. W. *Slope stabilization and stabilization methods*. John Wiley and Sons, Inc., 1995. ISBN 0-471-10622-4
2. Atkinson, J. *The Mechanics of Soils and Foundations*. New York: Taylor & Francis, 2007. ISBN 978-0-415-36256-6.
3. Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3.
4. Stanek, J., Kořínek, R. *Mechanika zemin - Stabilita svahů*. ES VŠB, 1991. ISBN 80-7078-103-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Barbara Luňáčková, Ph.D.**

Datum zadání: 27.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015



doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Anotace**

Cílem této práce je analyzovat porušený svah řeky Bečvy, který se nachází v ulici Palackého ve Vsetíně. Popsána je zájmová lokalita a zhodnocen stávající stav svahu a nábrežní zdi. Následně je navrženo a posouzeno sanační opatření v podobě železobetonové pilotové stěny, která je ukotvena pramencovými kotvami. Výpočet je proveden v softwaru GEO5, kde byly využity metody mezní rovnováhy a metody konečných prvků.

Teoretická část diplomové práce je věnována svahovým pohybům a jejich příčinám, dále metodám výpočtu stability svahu, sanačních opatření a ochranným prvkům břehu koryta.

**Klíčová slova:** Sanace, stabilita svahu, GEO5, svahové pohyby, pilotová stěna

## **Annotation**

The aim of this thesis is to analyze the damaged slope of the Bečva River which is located in the Palackého Street in Vsetín. The thesis describes the location of interest and evaluates the current situation of the slope and the embankment wall. Remedial measure consisting of a reinforced concrete pile wall anchored with strand anchors is designed and evaluated. The calculation is performed in GEO5 software using the limit equilibrium method and the finite element method.

The theoretical part is devoted to the movements of the slope and their causes, to the methods of slope stability calculation, remedial measures and protective elements of the river basin bank.

**Keywords:** Remedial measure, slope stability, GEO5, landslides, pile wall

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Svahové pohyby a jejich příčiny.....	2
2.1 Svahové pohyby .....	2
2.2 Příčiny ovlivňující svahové pohyby .....	3
3. Stabilita svahu z hlediska mechaniky zemin .....	6
3.1 Metoda mezní rovnováhy.....	7
3.2 Metoda řešení napjatosti a deformace zemního tělesa.....	10
3.3 Předpoklady správného stabilitního řešení.....	11
4. Sanační opatření.....	12
4.1 Úprava tvaru svahu .....	12
4.2 Odvodňování .....	13
4.3 Zpevnění povrchu svahu .....	15
4.4 Vyztužení zemin .....	15
4.5 Opěrné konstrukce .....	16
4.6 Hřebíkování svahu .....	19
5. Ochranné prvky břehu koryta .....	20
5.1 Vegetační opevnění svahu.....	20
5.1.1 Opevnění travním porostem .....	20
5.1.2 Opevnění vrbovým porostem .....	21
5.2 Nevegetační opevnění .....	23
5.2.1 Pohoz.....	23
5.2.2 Zához.....	24
5.2.3 Rovnaniny.....	24
5.2.4 Dlažby .....	25
5.2.5 Nábřežní zdi.....	26
5.2.6 Laťový plůtek .....	27

5.2.7	Sruby .....	27
5.2.8	Drátokamenné matrace.....	28
5.3	Kombinované opevnění .....	28
5.3.1	Haťové válce.....	28
5.3.2	Haťoštěrkový válec .....	28
5.3.3	Haťoštěrkové stavby .....	29
6.	Charakteristika zájmové oblasti.....	30
6.1	Geomorfologie.....	30
6.2	Geologie .....	31
6.3	Hydrogeologie .....	33
6.4	Svahové nestability v zájmovém území.....	35
7.	Analýza stávajícího stavu zájmové oblasti.....	36
7.1	Průzkum terénu.....	36
7.2	Geodetické měření .....	40
7.3	Vrtná prozkoumatelnost .....	40
8.	Modelová analýza stávajícího stavu .....	42
8.1	Zájmový svah .....	43
8.2	Nábřežní zeď .....	46
9.	Návrh sanačního opatření.....	50
10.	Analýza sanačního opatření.....	51
11.	Závěr .....	55
12.	Seznam použitých pramenů.....	57
13.	Seznam obrázků.....	60
14.	Seznam tabulek .....	62
15.	Seznam rovnic .....	63

## Seznam použitého značení

$F$  – stupeň stability

$F_a$  – aktivní síla [kN]

$F_p$  – pasivní síla [kN]

GEO5 – geotechnický software

$H_{res}$  – vodorovná síla vzdorující [kN]

$H_{ac}$  – vodorovná síla posunující [kN]

$N$  - normálová síla na úseku smykové plochy [kN]

MKP – metoda konečných prvků

$M_{ed}$  – maximální moment [kNm]

$M_{ovr}$  – moment klopící [kNm]

$M_{rd}$  – moment únosnosti [kNm]

$M_{res}$  – moment vzdorující [kNm]

$R$  – pevnost [MPa]

$V_{ed}$  – maximální posouvající síla [kN]

$V_{rd}$  – posouvající síla únosnosti [kN]

$W$  – tíha bloku [kN]

$b$  – šířka bloku [m]

$c$  – soudržnost [kPa]

$c_{ef}$  – efektivní hodnota soudržnosti [kPa]

$c_u$  – totální hodnota soudržnosti [kPa]

$l$  – délka úseku smykové plochy [m]

$p_v$  – proudový tlak [kPa]

$q_s$  – mezní plášťové tření [kPa]

$s$  – mobilizovaná smyková pevnost [kPa]

$u$  – pórový tlak [kPa]

$\varphi$  – úhel vnitřního tření [°]

$\varphi_{ef}$  – efektivní hodnota úhlu vnitřního tření [°]

$\varphi_u$  – totální hodnota úhlu vnitřního tření [°]

$\sigma$  – normálové napětí [kPa]

$\tau_{max}$  – maximální smyková pevnost [kPa]

1NP – 1. návrhový přístup

2NP – 2. návrhový přístup

3NP – 3. návrhový přístup



# 1. Úvod

Pohyby svahu jsou jednou z nejrozšířenějších živelných pohrom, které jsou spojeny se zemskými procesy. Svahové pohyby poškozují velké plochy zemědělských a lesních půd, ničí objekty, ohrožují silniční a železniční komunikace apod. Je nutná prevence a zabezpečení těchto oblastí. Jedna z důležitých částí ochrany proti sesuvným procesům je mapování svahových nestabilit, kde je uvedena míra rizika svahových pohybů.

Na území České republiky se nachází mnoho oblastí svahových nestabilit. Většinou se jedná o pohyb typu sesouvání. Podle J. Rybáře (2004) je v karpatské soustavě na území ČR postiženo rizikem sesuvů a jiných pohybů v průměru 3% území, ve Vsetínských vrších dokonce 10%. [1]

Cílem diplomové práce je posouzení pravobřežního svahu řeky Vsetínské Bečvy, který spadá pod ulici Palackého ve Vsetíně. V koruně svahu se nachází dopravní komunikace, která má viditelné znaky deformací. Pata svahu je chráněna nepoškozenou nábrežní zdí.

Diplomová práce se zabývá v úvodu svahovými pohyby a možnými příčinami svahových pohybů. Sesuvy jsou zde rozděleny z hlediska mechanismu a rychlosti. V další kapitole je vysvětlena stabilita svahu z hlediska mechaniky zemin a poté následuje popis sanačních opatření sesuvů a ochranných prvků břehu koryta.

V druhé části je popsána zájmová lokalita z hlediska geomorfologického, geologického a hydrogeologického. Zahrnuje zhodnocení současného stavu a příčiny svahových pohybů, vytvoření matematických modelů současného stavu a jeho posouzení. V rámci posouzení stávající situace je také řešen posudek nábrežní zdi. V poslední části je navrženo možné sanační opatření ve formě železobetonové (ŽB) pilotové stěny, kterou stabilizují kotvící prvky. Pilota je posouzena na možné kritické podmínky a následně provedena dimenzace průřezu. Byl využit software GEO5, konkrétně moduly: Stabilita svahu, MKP, Stabilizační pilota, Pažení posudek, Tízná zeď a Hřebíkový svah.

## **2. Svahové pohyby a jejich příčiny**

### **2.1 Svahové pohyby**

Svahový pohyb vzniká v místech, kde dochází k porušení stability vlivem zemské tíže. Jedná se o velmi různorodý geodynamický proces, který probíhá v přírodním prostředí. Vzniká v závislosti na místních přírodních poměrech a případně na lidské činnosti. Z geologického hlediska není žádný svah trvale stabilní.

Svahové pohyby se mohou rozdělovat z hlediska mechanismu a rychlosti, geneze, opakovatelnosti, tvarem půdorysu, věku apod. Nejčastější rozdělení svahových pohybů je z hlediska mechanismu a rychlosti, které dělí svahové pohyby na 4 skupiny: [2]

- **Ploužení**

Jedná se o dlouhodobý, nezrychlující se pohyb horninových hmot s rychlostí pohybu milimetry až centimetry za rok. Může se jednat o ploužení povrchové nebo hlubinné. Povrchové ploužení je definováno pomalým nerovnoměrným pohybem horninových hmot vlivem změn teplot a vlhkosti. Hlubinné ploužení způsobuje rozvolnění, roztrhání horských masivů, ohýbání vrstev a blokových poruch. [3] [4]

- **Sesouvání**

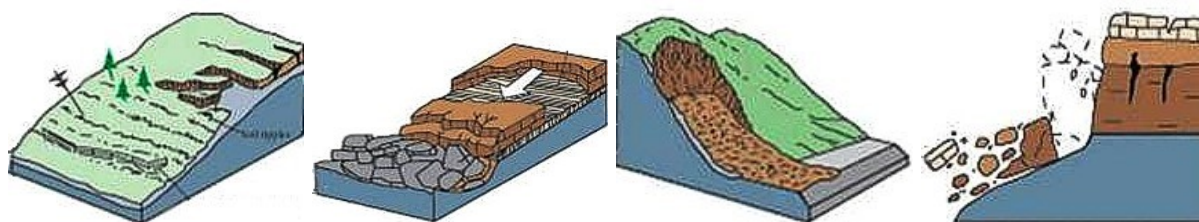
Jedná se o relativně krátkodobý, rychlý a klouzavý pohyb hmoty po smykové ploše. Rychlost sesouvání se pohybuje centimetry až metry za den. Část hmoty se nasouvá na původní terén v předpolí. V konečné fázi se jedná o sesuv. Sesuvy je možné rozdělit podle tvaru smykové plochy na rotační, planární, rotačně planární a translační anebo podle plošného tvaru na plošné, proudové a frontální. [2] [3]

- **Stékání**

Stékání je krátkodobý, rychlý pohyb hmot ve viskózním stavu. Rychlost stékání dosahuje rychlosti metr až kilometr za hodinu. Většina horninové hmoty vyteče z odlučného prostoru a pohybuje se po povrchu na velkou vzdálenost. Viskózní hmota je výrazně oddělena od neporušeného podloží. Ve výsledné fázi se jedná o proud. Při konečném pohybu se stékání může změnit na pomalé ploužení. [2]

- **Řícení**

Krátkodobý a velmi rychlý proces na strmých svazích. Při řícení dosahuje rychlost pohybu hmot několika metrů za sekundu. Postižené místo je rozvolněno, ztrácí kontakt s podložím a dochází v určité části k volnému pádu hornin. V počáteční fázi se může projevovat jako ploužení. Dochází k přemístění hmot na velké vzdálenosti. [3]



Obrázek 1: Jednotlivé svahové pohyby - ploužení, sesouvání, stékání, řícení [5]

## 2.2 Příčiny ovlivňující svahové pohyby

Při posuzování stability svahu je důležité rozpoznat, z jakých příčin dochází ke svahovým pohybům. Svahová stabilita je podmíněna geologickou strukturou, hydrogeologickými poměry, vlastnostmi hornin a morfologií území. Nejen geologické vlastnosti ovlivňují svahové pohyby, ale i další zásadní faktory, které jsou uvedeny níže. Jednotlivé faktory mohou působit dlouhodobě i krátkodobě. Analýza těchto příčin umožní správné odhadnutí stupně bezpečnosti a následných sanačních opatření. [4]

- **Zvětšení výšky svahu**

Při prohlubování údolí výkopovými pracemi nebo erozními činnostmi vznikají pukliny vedoucí rovnoběžně s povrchem svahu. Tyto trhliny se vytvářejí uvolněním bočních tlaků. Svah je následně oslaben povrchovou vodou, která vniká do puklin. [4]

- **Změna sklonu svahu**

Ke změně sklonu svahu může docházet při erozi paty u vodních toků, lidskou činností anebo u tektonických vlivů, kde vzniká pokles nebo zdvih. Se vzrůstajícím sklonem svahu se zvětšuje napětí ve smyku. [4]

- **Přetížení svahu**

Přetížení svahu násypy, haldami nebo skládkami způsobuje zvýšení smykových napětí a vzrůst pórového tlaku. V jílovitých zeminách dochází ke snížení pevnosti ve smyku. Nebezpečí narůstá při zvýšené rychlosti u přetížení. [4]

- **Otřesy a vibrace**

Následkem otřesů a vibrací vznikají v horninách kmity o různé frekvenci. V našich podmínkách se většinou jedná o výbuchy velkých výbušnin nebo o otřesy strojů. Dochází ke změně napětí v horninách, která může porušit stabilitu svahu. U spraší a málo zpevněných písků může dojít k porušení intergranulární vazby a tím ke zmenšení soudržnosti. Při otřesech v oblasti jemně zvodnělých písků a citlivých jílů může nastat ztekucení. [4]

- **Změny obsahu vody**

Vlivem atmosférických srážek vniká voda do puklin, kde se vytváří hydrostatický tlak. V zeminách se zvyšuje pórový tlak a to má za následek snížení smykové pevnosti. Opakující se svahové pohyby se vyskytují v létě v oblasti vydatných dešťových srážek.

V suchém období se jílovité zeminy vysouší a smršťují. Tím se zmenšuje jejich soudržnost. Vznikají trhliny, do kterých vniká voda.

- **Působení podzemní vody**

Stabilita svahu je ovlivněna tlakem proudící podzemní vody na částice zemin. Při rychlé změně hladiny podzemní vody dochází ke zvýšení pórového tlaku, po kterém nastává náhlé ztekucení.

Působením podzemní vody může nastat jev názvem sufoze, kdy se vyplavují jemné částice písčitých zemin vlivem proudící podzemní vody. Snižuje se soudržnost, která má za následek nižší pevnost.

Dále může docházet ke vztlaku, který je zapříčiněn napjatou hladinou vody, jenž je v nepropustných vrstvách v nadloží. [4]

- **Činnost mrazu**

Při mrazivých dnech dochází ke zvětšení objemu vody v trhlínkách, které se poté rozšiřují a tvoří se nové pukliny. Při tání v jílovitých a jílovitopísčitých zeminách se zvyšuje obsah vody v povrchové vrstvě, která poté rozbředá. [4]

- **Zvětrávání hornin**

Následkem mechanického a chemického zvětrávání se porušuje soudržnost hornin. Mnoho sesuvů bylo zapříčiněno chemickou změnou hornin, která byla způsobena prosakující vodou. [4]

- **Změna vegetačního pokryvu**

Při zavedení vegetačního pokryvu dochází ke zvýšení stabilizace svahu, kdy kořenové systémy přispívají k vysoušení. Mění se vodní režim v povrchových vrstvách. [4]

### 3. Stabilita svahu z hlediska mechaniky zemin

Z hlediska mechaniky je svahový pohyb aplikací fyzikální úlohy stability tělesa na nakloněné rovině. Vznikají aktivní smykové síly dané vlastní tíhou, přitížením a pasivní smykové síly, které se snaží zabránit pohybu svahu. Pasivní síly jsou závislé na pevnosti horniny a tření. Součinitel bezpečnosti je poměr všech pasivních sil k odpovídajícím aktivním silám. Tato veličina je jedna z hlavních měřítek pro posouzení stability svahu. [4]

Mechanismus zapojení aktivních a pasivních sil je velmi složitý. Ve většině případů dochází k přetvoření svahu a tím se úloha stává staticky neurčitou. Nastává redistribuce vnitřních sil a nedochází k mobilizaci pasivních sil současně, ale postupně. [4]

Pro optimální návrh stabilitního řešení je potřeba detailního poznání příčin sesuvu. V návrhu má velký význam hospodárnost, kde se uvažuje o možnostech ochrany zemědělské půdy, úspory v přesunu zemin a zajištění funkce násypů a přehrad. Projevy povrchu jsou důležitou pomůckou k zjištění příčin nestability svahu. Nejde o to, zda se porucha poprvé projeví na povrchu svahu, ale kde opravdu vznikne. Metodika přístupu k bezpečnému návrhu správného sklonu svahu závisí na důležitosti příkladu. [6]

Pro posouzení stability svahu zemského tělesa se využívají metody:

- **Metoda mezní rovnováhy**

Metoda vychází z předpokladu, že dochází k porušení svahu podél konkrétní smykové plochy. Principem metody je řešení rovnováhy sil a postupné vyhledávání smykové plochy s nejnižším stupněm stability.

- **Metoda mezního stavu rovnováhy**

Metoda vychází z Rankinovy teorie, kde je cílem definování obecně tzv. Kritické výšky svahu o sklonu  $\beta$  a parametrech smykové pevnosti  $\varphi$ ,  $c$ , při kterých dochází k meznímu stavu rovnováhy. Je ovlivněna výchozími předpoklady.

- **Metody řešení napjatosti a deformace zemního tělesa**

Metoda umožňuje stanovení deformace zemního tělesa jako celku, nebo jen jeho jednotlivých částí. Poté se dále porovnává spočítaná napjatost s napjatostí při porušení.

- **Nomogramy, tabulky**

Návrhy sklonu svahu vycházejí z praktických zkušeností nebo z mnoha případů, které byly například vyřešeny metodou mezní rovnováhy. V ČSN 73 3050 se nachází orientační sklony při výkopových pracích.

### **3.1 Metoda mezní rovnováhy**

Principem metody je řešení rovnováhy sil podél zvolené smykové plochy. Tvary smykových ploch jsou různé. V homogenních soudržných zeminách se vytváří rotační sesuvy. Většinou tvar přibližně odpovídá jednoduché kruhové smykové ploše. Translační sesuvy po rovinných plochách se objevují v sypkých zeminách, ale také se mohou nacházet v soudržných zeminách na rozhraní měkké povrchové vrstvy s pevnějším podložím. V případě, že se jedná o nehomogenní oblast s anizotropní pevností, lze nalézt obecný tvar smykové plochy. Ta vychází z podmínky minimálního odporu na této kinematicky možné smykové ploše. [6]

Stupeň stability  $F$  je definován, jako poměr maximální smykové pevnosti  $\tau_{max}$  k mobilizované smykové pevnosti  $s$ :

$$F = \frac{\tau_{max}}{s} \quad (1)$$

Tato metoda je využívána hlavně kvůli její jednoduchosti. Z definice stupně stability také plyne, že neuvažuje vývoj smykové pevnosti s ohledem na deformaci.

Vyjádření smykové pevnosti je možné provést několika způsoby: [6]

- Řešení v totálních napětích za využití totálních parametrů smykové pevnosti  $\varphi_u, c_u$

$$s = \frac{\tau_{max}}{F} = \frac{c_u}{F} + \sigma \frac{tg\varphi_u}{F} \quad (2)$$

Vychází se z totálního zatížení na smykové ploše. Pórový tlak se neuvažuje, protože je zahrnut v totálních parametrech.

- Řešení v efektivních napětích s použitím pórového tlaku  $u$

$$s = \frac{\tau_{max}}{F} = \frac{c_{ef}}{F} + (\sigma - u) \frac{tg\varphi_{ef}}{F} \quad (3)$$

Vychází se z totálního napětí a pórového tlaku, který zde působí.

- Řešení v efektivních napětích s použitím proudového tlaku  $p_v$

$$s = \frac{\tau_{max}}{F} = \frac{c_{ef}}{F} + \sigma_{ef} \frac{tg\varphi_{ef}}{F} \quad (4)$$

Oproti předcházejícím řešením se určuje na smykové ploše přímo efektivní zatížení, které je dáno efektivní tíhou zeminy a proudovým tlakem.

- **Kruhové smykové plochy**

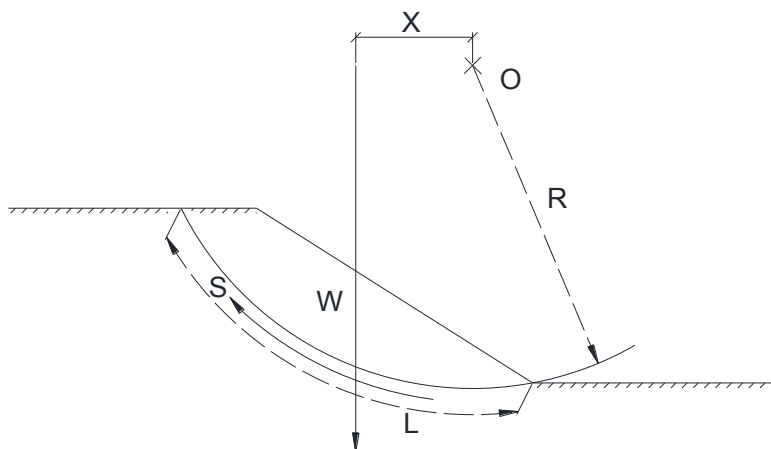
Jedná se o rovinnou úlohu. Posuzuje se nebezpečí usmýknutí kruhové výseče o tíze  $W$ . Kruhová smyková plocha je zadána poloměrem  $R$  a středem  $O$ . Aktivní a pasivní síly se stanoví na základě momentové podmínky:

Síly aktivní  $Wx$

Síly pasivní  $RS$ , kde  $S = s.L$

$s$  - mobilizovaná smyková pevnost

$L$  - délka smykové plochy



Obrázek 2: Porušení stability po kruhové smykové ploše [6]

Z toho vyplývá, že momenty se budou rovnat při určitém stupni stability  $F$ . Řešením problému s vyjádřením hodnoty  $(\sigma - u)$  podél smykové plochy je využití tzv. proužkové metody, která rozděluje kruhovou výseč na proužky.



Pettersonova metoda neuvažuje s vlivem sil vyvolaných sousedními proužky a vychází jen z momentové podmínky.

$$F = \frac{\sum [c_{ef}.l + (N-u.l)tg\varphi_{ef}]}{\sum W.\sin\alpha} \quad (5)$$

Bishopova metoda uvažuje s vlivem sil od sousedních proužků. Vychází také z momentové podmínky a zavádí rovnováhu sil pro jednotlivý proužek.

$$F = \frac{1}{\sum W.\sin\alpha} \sum \frac{c_{ef}.b + (W-u.b)tg\varphi_{ef}}{\cos\alpha + \frac{tg\varphi_{ef}.\sin\alpha}{F}} \quad (6)$$

- **Rovinné smykové plochy**

Rovinná smyková plocha rovnoběžná se svahem nahrazuje většinu smykových ploch u translačních pohybů.

- **Obecné smykové plochy**

V případech, kde se vyskytuje nehomogenita, vrstevnatost, střídání různých zón v tělese se posuzuje stabilita na obecné smykové ploše.

Obecnou smykovou plochu lze řešit dvěma způsoby. První způsob je pomocí proužkové metody, která dělí svah nad smykovou plochou na proužky. Smyková plocha je tedy složena z jednotlivých křivkových úsečků, které na sebe navazují. Patří zde Janbuova metoda Morgensternova-Priceova a Sarmova metoda. Problém proužkových metod je jejich statická neurčitost.

Druhý způsob je využití klínové metody, která řeší stabilitu určitého bloku nad zvolenou smykovou plochou, která je z boku zatížena aktivními a pasivními bloky zeminy. [6]

### 3.2 Metoda řešení napjatosti a deformace zemního tělesa

Pro stanovení napjatostního a deformačního stavu tělesa lze použít libovolnou metodu teoretické mechaniky. Přesnost použité metody je závislá na vztahu mezi napětím a deformací. Metody, které předpokládají chování materiálu lineárně pružně, nevypovídají o skutečném stavu zemského tělesa.

Nejpoužívanější metodou pro stanovení napjatostního a deformačního stavu tělesa je metoda konečných prvků, která umožňuje použít složité napěťo-deformační diagramy.

Chování skutečné zeminy je možné idealizovat pomocí např. bilineárního nebo hyperbolického modelu. Druhou možností je využití rozdělení počátečního a konečného stavu na několik stupňů, pro které se určí pseudoelastické parametry stanovené reálnou závislostí mezi napětím a přetvořením. Ty se určí pomocí tečnových nebo sečnových modulů.

Výsledky napjatosti v jednotlivých elementech se porovnají s napjatostí při porušení. Metoda dokáže určit oblast porušení v zemním tělese a následné šíření poruchy svahu. Vystihne reálný vliv původní geostatické napjatosti. Výhodou této metody je využití simulace stavby ve stupních. [6]

Další výhody metody napjatostního a deformačního stavu:

- Přehled o napjatosti v jednotlivých elementech, u kterých je sledován vývoj oblasti porušení, hlavních napětí a drah napětí. Tím můžeme ovlivnit laboratorní zkoušky, aby simulovaly nejlépe skutečné chování.
- Sledování redistribuce napětí v nehomogenních materiálech.
- Při deformační analýze jsou získány informace o celkovém charakteru deformace zemního tělesa, které jsou vhodnější pro posouzení stability díla.
- Numerické simulování a lokalizace oblasti kritických míst tělesa z hlediska napjatosti a přetvoření ovlivní pozitivně volbu místa geotechnického monitoringu.

Přesnost MKP je závislá na vstupních datech z laboratoří a na způsobech náhrady skutečného přetváření zeminy jejím modelem. Je potřeba správně rozdělit oblast na určitý počet elementů. [6]

### **3.3 Předpoklady správného stabilitního řešení**

Přesnost posouzení stability svahu závisí na správném určení smykové pevnosti a volbě smykových parametrů. Poté na vhodné volbě řešení stability svahu a vyhledávání nejnebezpečnější smykové plochy s nejnižším stupněm stability.

Mezi obecné charakteristiky patří znalosti morfologie území, geologického profilu pro posouzení nehomogenity podloží a míst, které jsou nejvíce náchylné k porušení. Důležitá je znalost rozložení pórových tlaků a správné stanovení objemové tíhy. [6]

## 4. Sanační opatření

### 4.1 Úprava tvaru svahu

Jedná se jednoduchou a velice rozšířenou úpravu svahu. Při snížení objemu zemin ve vyšších aktivních polohách nebo při přitížení paty svahu dochází ke zlepšení stability. Pro návrh správného postupu se musí uvažovat, o jaký typ destrukce se jedná. Zda nastává jednoduchý rotační sesuv nebo dochází k vytlačování měkké vrstvy zeminy z podloží.

Pro přitížení paty svahu se navrhují přítěžovací násypy, které jsou řádně odvodněny. Pro násyp se většinou používá drcené kamenivo nebo zemina o vhodném zrnitostním složení. Další možnosti jsou odlehčovací zářezy ve vrchní části svahu, po kterých se ve svahu vytvoří vodorovné lavice. V případě dostatečného prostoru je možné upravit celkový sklon svahu.

Výhodou této úpravy svahu je nenáročná strojní práce, jednoduché provedení a prakticky bezúdržbovost. Problémem je větší přesun hmot. [3] [7]



Obrázek 3: Zemní lavice a stabilizační přísypy [7]

## 4.2 Odvodňování

Jeden z prvních úkolů sanačních opatření je správné odvodnění sesuvného území. Odvodněním se sníží napětí vody v pórech za účelem zvýšení smykové pevnosti zeminy. Odvodnění je možné rozdělit na povrchové a hloubkové. Ve většině případů povrchové odvodnění nestačí ke stabilizaci svahu, ale přispívá k jeho uklidnění. [4]

### • Povrchové odvodnění

V první fázi je nutné zachytit a odvést přítoky potoků a vodotečí z okolí sesuvného území. Pokud se nachází v ohroženém území vyvěrající prameny, tak je nutné, je odvést. Pro odvodnění potoků, pramenů se používá potrubí.

Po částečném uklidnění sesuvu se navrhuje otevřené příkopy, které odvádí dešťové a sněhové vody. Příkop musí být řádně dimenzován v přiměřeném sklonu. Pro zajištění plynulého odtoku vody je nutné zarovnat území, vyplnit trhliny a vyrovnat bezodtokové deprese. Při těchto úpravách se musí dávat pozor, aby se příliš nepoškodila drnová pokrývka, která má vliv na vsakování vody do podloží.

Strany a dno příkopu musí být dostatečně pevné, aby nedocházelo k porušení erozí. Dláždí se přírodním kamenem nebo betonovými tvárnicemi. Příkop je uložen do pískového lože a spáry jsou utěsněny cementovou maltou nebo drnem. V písčitém podloží se příkop může zpevnit pomocí nástřiku asfaltu atd. Je možné také navrhnout příkopy z ŽB tvárnice nebo ze dřeva.

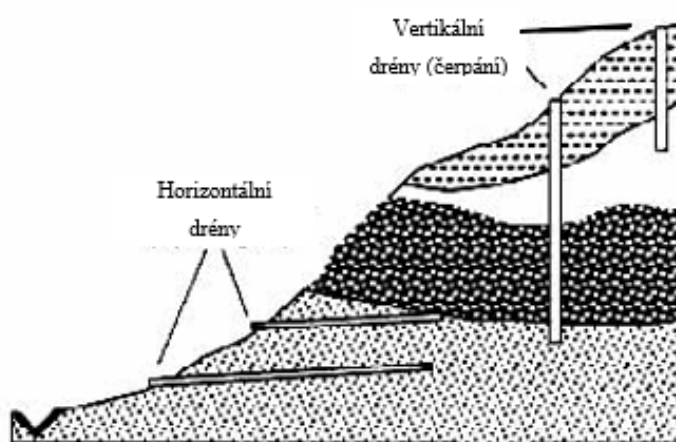
Po vybudování otevřených příkopů je možné zřídit nad odlučnou oblastí obvodové příkopy, které zadrží a odvedou vodu mimo sesuvné území. Jsou navrženy z nepropustné dlažby.

Odvodňovací příkopy se musí pravidelně udržovat z důvodu možného porušení stability ohroženého území. [4]

Další možností je návrh drenážních žebor v rýhách 1-2 m hlubokých, které jsou vykopány po spádnicí, opatřeny geotextilií a drenážním potrubím. Drenážní žebra jsou vhodná pro mělkou drenáž. [3]

- **Hloubkové odvodnění**

Pro hloubkové odvodnění se využívá soustava odvodňovacích vrtů. Správná funkce odvodnění je zajištěna vrtvy, které mají dosah až do propustné vrstvy v podloží. Proti možnému zanesení jsou horizontální vrtvy opatřeny perforovanou pažnicí, kterou lze tlakovou vodou propláchnout. V případě, že je nutné zvýšit účinnost odvodnění, jsou vybudovány štěrkové piloty nebo stěny. Voda je pak odváděna soustavou vějířovitých vrtů do drenážní studně, z které putuje do povrchových toků pomocí horizontálního vrtu, kanalizace apod. [3]



Obrázek 4: Odvodnění svahu vrtvy [15]

Méně častou metodou odvodnění je pomocí elektroosmózy, která je využívána v málo propustných, zvodnělých zeminách. Princip této metody spočívá v zavedení stejnosměrného proudu do zeminy, který uvolňuje vázanou vodu. Uvolněná voda je následně čerpána mimo sesuvné území. [3]

### 4.3 Zpevnění povrchu svahu

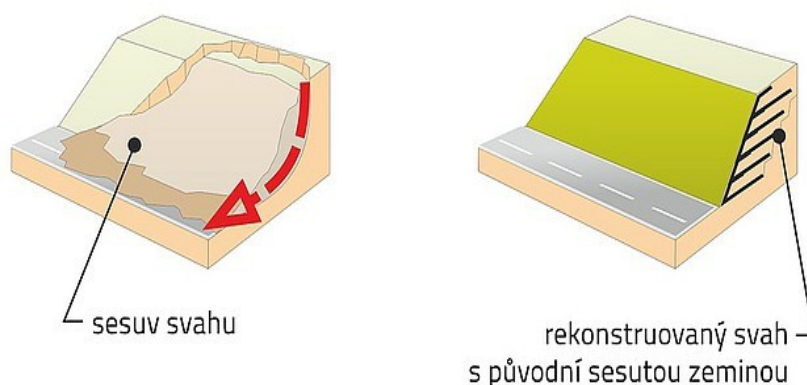
Povrchové zpevnění se využívá u svahů, které jsou náchylné na erozní vlivy. Protierozní ochrana může být trvalá nebo dočasná. Zpevnění povrchu svahu nezvyšuje celkovou stabilitu svahu.

Pro dočasnou ochranu svahu před vodní erozí a splavováním zeminy se navrhuje přírodní síť, rohože a ekotextilie. Tyto prvky ochrání svah do té doby, než naroste rostlinný porost, poté se samovolně rozloží. Jsou vyrobeny obvykle z kokosu, juty, biomasy apod. Životnost se pohybuje do 5 let. Výhodou dočasného zpevnění je jednoduchá instalace a manipulace, nezatěžuje životní prostředí a umožňuje aplikaci na jakýkoliv sklon svahu. [8]

Pro trvalou ochranu svahu před erozí se používají georohože nebo geobuňky. Jedná se o prvky s trojrozměrnou strukturou, které se pokládají na upravený svah, ukotví se a zasypou zeminou. Pro správný výběr protierozní ochrany je důležitá intenzita namáhání, sklon a délka svahu, typ zeminy a geologický podklad. Životnost je odhadována na více než 10 let. [8]

### 4.4 Vyztužení zemin

Při porušení svahu v důsledku sesuvu je možné sanovat svah pomocí vyztužování. Využívá se sesutá zemina, která se vyztuží vrstvami výztužných prvků tak, aby protínaly smykovou plochu. Nezvyšují se nároky na únosnost základové půdy. Díky využití sesuvné zeminy se sníží odvoz a dovoz materiálu na stavenišť. Odhaduje se snížení nákladů oproti tradičním technologiím až o 75 %. Při zpevnění svahu výztužnými prvky je možný sklon rozmezí v 20 až 50°. V případě potřeby zvýšit sklon svahu je možné použít techniku tzv. "obalovaného čela" s využitím ztraceného bednění. [8]



Obrázek 5: Sanace pomocí vyztužené zeminy [8]

## 4.5 Opěrné konstrukce

Opěrné konstrukce umožňují opření svahu do tuhé konstrukce. Nejčastěji se jedná o klasické gravitační zdi, které se zakládají pod smykovou plochu. Druhou možností je využití pilotových stěn, které mohou být vetknuty do únosného podloží nebo zajištěny pomocí kotev.

- **Gravitační zeď**

Gravitační zeď odolává zemnímu tlaku pouze vlastní tíhou. Posuzuje se únosnost základové půdy, spolehlivost proti pootočení, překlopení, posunutí a proti porušení zemního masivu [9]. Chování zdi je závislé především na hmotnosti opěrné stěny, na jejím tvaru a na její výšce. Chování je dále ovlivněno zatížením terénu nad korunou stěny, sklonem stěny směrem k terénu, způsobem uložení stěny na základové konstrukci, typu zásypové horniny, způsobu odvodnění zásypu, vlastnostmi základové půdy. Všechny tyto faktory je třeba zohlednit ve statickém výpočtu a stanovit předpoklady stabilního chování konstrukce. [10]

- **Zárubní zeď**

Zárubní zeď je opěrná stěna opírající se o přirozený terén. Odolává menším tlakům oproti gravitační stěně. Zřizuje se jako opora zabezpečující svahy výkopu. Odolává vodorovným, nebo šikmým tlakům od zeminy. Vodorovnou složku zatěžovací síly je možné zachytit kotvou. [9]



- **Gabionová konstrukce**

Jedná se o konstrukci, která je složena z jednotlivých drátokamenných prvků. Gabion je tvořen ocelovou konstrukcí ve tvaru kváдру či krychle, která je vyplněna přírodním nebo lomovým kamenem. Konstrukce gabionu může být svařena z ocelových sítí rovnou na staveništi nebo dovezena už v požadovaném tvaru. Gabion je složen ze dna, z bočních stěn, víka a přepážek. [11] Mohou být navrženy jako gravitační zeď, která odolává zemským tlakům nebo jako lícové zpevnění svahu, protihlukové bariery apod.

Vyznačuje se dlouhou životností. Po vybudování dochází k okamžité statické funkčnosti. Gabiony mají výbornou propustnost. Tím, nedochází k narušení vodního režimu. [15]



Obrázek 6: Gabionové konstrukce [15]

- **Pilotové stěny**

Pilotové stěny představují trvalou pažící konstrukci. Jsou tvořeny nejčastěji jednou řadou pravidelně rozmístěných pilot, jenž jsou namáhány na ohyb, respektive mimostředný tlak. Pilotové stěny se konstruuji pouze z pilot typu „replacement“ (z pilot vrtaných). Betonová směs se umístí do vyvrtaných otvorů, ve kterých se nachází výztuž. Spojení jednotlivých pilot je pomocí betonového trámce. Ze statického hlediska mohou být pilotové stěny vetknuté, kotvené. Mezery mezi pilotami jsou využity pro odvodnění. Stabilitu těchto mezer je možné zajistit stříkaným betonem. Výhodou pilotové stěny je možnost ji vybudovat v předstihu než dojde k úpravě tvaru svahu. [3] [13]

V případě, že se jedná o mělký sesuv, využívají se mikropiloty. Je to maloprofilový prvek, který přenáší tahové i tlakové účinky od zemních tlaků nebo od konstrukce. Zhotovuje se vrtáním zapaženého (pomocí ocelové pažnice nebo suspenze) nebo nezapaženého vrtu, který je vyplněn cementovou zálivkou. Vystrojí se ocelovou silnostěnnou trubkou, která je v kořenové části perforovaná. Po 24 hodinách je provedena injektáž kořenové části mikropiloty a poté se po částech doinjektovává. [13]



Obrázek 7: Betonování pilot [16]

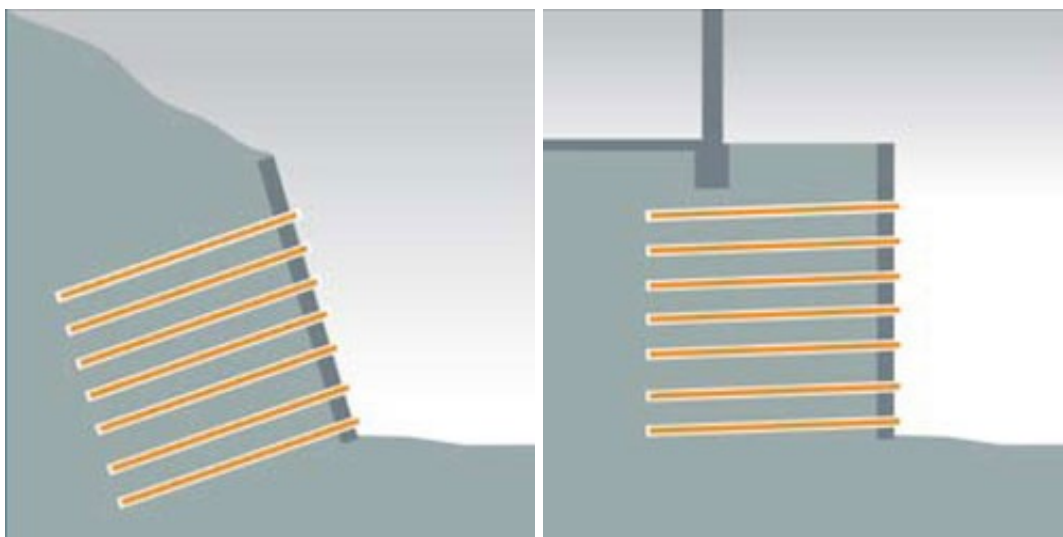


Obrázek 8: Výztuž betonového trámce s kotvami [16]

## 4.6 Hřebíkování svahu

Ekonomicky výhodná metoda, která vyztužuje zeminu pomocí kotvících prvků. Principem metody je vytvořit poměrně hustou síť krátkých tahových prvků v zemském tělese. Jednotlivý tahový prvek je tvořen zpravidla hřebíkem z betonářské oceli v cementové zálivce a je zaústěn do krycí vrstvy stříkaného betonu, který je vyztužen ocelovou síťovinou tloušťky cca 100-250 mm. Propojení krycí vrstvy s hřebíkem zajišťuje jeho hlava, která je tvořena ohybem táhla hřebíku. Po správném vybudování vzniká těleso z vyztužené zeminy, které vzdoruje zemním tlakům, eventuálně povrchovému zatížení. Oproti pažicím konstrukcím má hustší síť, odlišný přenos zatížení do zeminy. Hřebíky nejsou předpjaty. V závislosti na geologickém prostředí se navrhuje vrty v průměru mezi 90 a 150 mm.

Hřebíkování se používá jako dočasná stabilizace svahů, pažení stěn, při sanaci stávajících opěrných zdí apod. [17]



Obrázek 9: Schéma hřebíkování [17]

## 5. Ochranné prvky břehu koryta

Pro správnou funkčnost koryta řeky je nutné zajistit vhodnou úpravu břehu. Svahové opevnění musí odolávat účinkům proudící vody v korytě, účinkům vlnění vody, zamezit porušení svahu povětrnostními vlivy, zabezpečit břeh proti sesuvu a ochránit patu svahu proti obrušování od splavenin, ledu a jiných plovoucích předmětů. [22]

### 5.1 Vegetační opevnění svahu

K opevnění svahu je používán materiál rostlinného původu, který se přirozeně adaptuje do okolní krajiny. Má dobré regenerační schopnosti, které jsou ovlivněné klimatickými, půdními a hydrobiologickými podmínkami. Důležitá je volba správné druhové skladby v určité části profilu. [21]

#### 5.1.1 Opevnění travním porostem

Odolává průtokům vody dlouhodobě 2 m/s a krátkodobě do 4 m/s. Většinou se jedná o osetí, drnování, travní koberce a nástřiky. [18]

- **Osetí**

Ruční osetí se využívá na svazích o nízkém sklonu 1:1-1:1,5, kde se nachází humusovitá vrstva zeminy. Mezi výhody patří nemechanizovaná práce a nízké náklady. Důležitá je kvalita rozhozu osiva a ruční zapravení do půdy. Protierozní ochrana vzniká až po nárůstu travního porostu. Využívá se za ideálních klimatických, geologických a geomorfologických podmínek.

Při mechanizovaném osetí neboli hydroosevu se směs vody, hnojiva a semena nástřikuje na břeh. Tato směs je chráněna sítí z organických látek. Minimální vrstva humusu by měla být 100 mm. Výhodou je okamžitá ochrana svahu proti erozi, ochrana osiva před nepříznivými vlivy a menší pracnost. Využívá se na velkých, nepřístupných plochách. V extrémních podmínkách je nutné dodatečné hnojení a zalívání. [19]





Obrázek 10: Vysazený osev na břehu [23]

- **Drnování**

Drnování se využívá na svazích o vyšším sklonu, kde je zapotřebí rychlé opevnění. Výška drnu se pohybuje kolem 10 cm. Pokládají se po celé ploše nebo v roštích a pásech. Drn se přichytí kolíky a následně se zaleje vodou pro lepší přilnutí k terénu a rychlejší prokořenění. Pro správné opevnění je zapotřebí hustý předpěstovaný drn, proto se v dnešní době tato metoda příliš nevyužívá.

Je možné použít drnové koberce, které se vypěstují na geotetili nebo travní rohoži a následně stočí. Dochází k okamžité protierozní ochraně za předpokladu dobrého přilnutí a upevnění v horní části svahu. [19]

### **5.1.2 Opevnění vrbovým porostem**

Vrbový porost vytváří bohatý kořenový systém. Jeho výhodou je adaptace ve vodním prostředí. Je dvakrát odolnější než travní drn. Je možné vytvořit z vrbového materiálu pružné konstrukce. Jedná se o metody: Osazení vrbovými řízků, vrbový pokryv, haťové povázky, zápletové plůtky. [18]

- **Vrbové řízky**

Jsou vhodné pro rychlost průtoku 2-3m/s. Většinou se jedná o 10 kusů na 1 m<sup>2</sup>. Opevňovací funkci začínají plnit po 2 měsících od vysazení. Vrbové proutí průměru 1 až 3 cm, délky 0,3-0,5 m se sází kolmo ke svahu tak, aby vyčnívalo alespoň jedno očko. Vsazují se v jarních a podzimních měsících. Řízky se připravují ve vegetačním klidu.

- **Vrbový klest**

Jedná se o vrbový klest tloušťky 3-5 cm, který je tvořen jednotlivými pruty o průměru 4 cm. Silnější konce se zapustí do země. Připevňují se páleným drátem o průměru 2-3 mm, který je přichycen ke kolíkům průměru 3-4 cm a délky 80 cm a více. Kolíky se rozmísťují šachovnicovým způsobem. Jsou vhodné na svah o sklonu 1:1-1:1,5. Výhodou vrbového pokryvu je pružnost opevnění břehového svahu. [18] [22]

- **Hat'ové povázky a válečky**

Povázky se zhotovují z prutů o průměru 2-3 cm, které se svazují do profilu 8-12 cm. Pruty jsou 2x ovinuty páleným drátem průměru 2-3 mm, ve vzdálenosti 0,2-0,4 m.

Z hat'ových povázek je možné vytvořit rošt, kde se povázky uchyty ke svahu uhlopříčně po 1m. Následně se prostory mezi povázky vyplní zeminou.

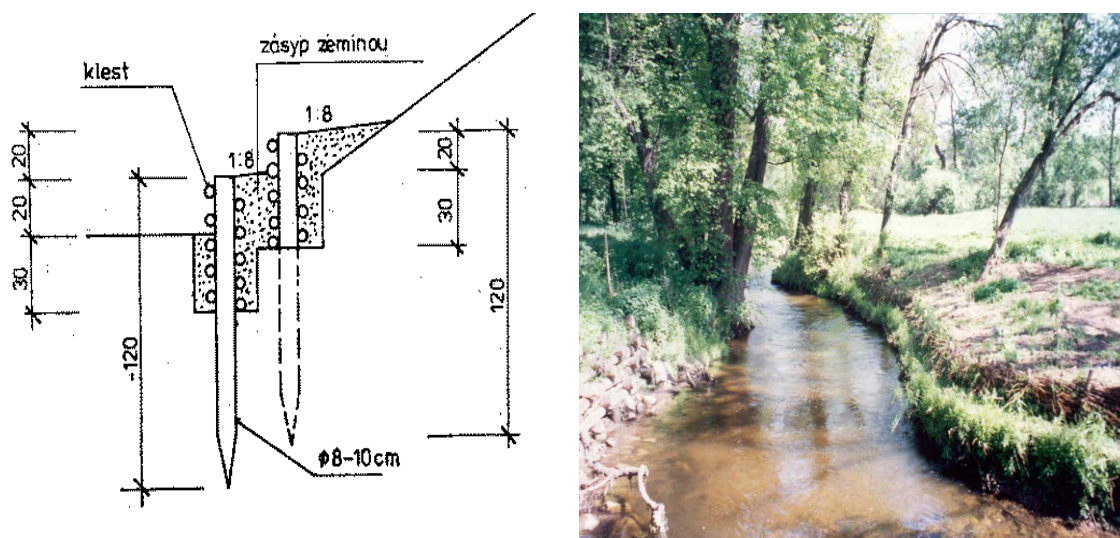
Hat'ové válečky se zhotovují obdobně jako povázky, ale jejich průměr je 10-20 cm. [18] [22]



Obrázek 11: Schéma hat'ové povázky [23]

- **Zápleťové plůtky**

Zápleťové plůtky mohou být jednořadové nebo dvouřadové. Jedná se kůly profilu 8-10 cm, které jsou ve vzdálenosti do 60 cm. Provádí se mezi kůly vrbový zápleť o průměru 2-4 cm. Výška zápleťu nad dnem je 30 cm. Většinou se využívají k zabezpečení paty svahu. Jedná se spíše o dočasný zpevňovací prvek. [18] [22]



Obrázek 12: Zápleťový plůtek [23]

## 5.2 Nevegetační opevnění

Navrhují se v místech, kde je větší tečné napětí a tam, kde dochází v korytě k makroturbulentním jevům. Tyto jevy většinou vznikají vlivem objektů v korytě. Jedná se o pohozy, šterkové koberce, záhozy, rovnániny, dlažby, ochranné sítě, nábrežní zdi, laťové plůtky a sruby.

### 5.2.1 Pohoz

Poddajné opevnění břehových svahů pro sklony do 1:2. Jedná se o říční oblázky, šterkopísky, drcené kamenivo, lomové kamenivo apod. Pohoz se rozhrne, urovná na upravenou pláň na požadovanou tloušťku. Celková tloušťka je minimálně 15 cm a zároveň trojnásobek efektivního zrna pohozu. Provádí se zpravidla na sucho. V případě, že podloží má jemnozrnný nebo hlinitý charakter, je vhodné vytvořit podkladní filtrační vrstvu. Pokud je potřeba zvýšit odolnost, zhutní se pohoz (šterkový koberec). [11]

Pohozy se mohou rozdělit dle použitého zrna na lehké a těžké. Pro oba typy pohozu lze uplatnit biologickou úpravu.

Lehký pohoz se navrhuje z přirozených materiálů údolní nivy, které mají vhodnou velikost efektivního zrna, nebo z hrubého drceného kameniva. Využívají se hlavně na malých a středních tocích. Je možné zvýšit stabilizaci pomocí nástřiku pryskyřice, živice, latexu nebo cementové malty na pohoz.

Pro těžký pohoz je typickým materiálem neupravený lomový kamen do 200 kg. Tyto pohozy se uplatní v horských oblastech s velkými průtoky vody nebo u splavených kanálů a toků. Pro zlepšení opevnění může být provedena stabilizace pomocí injektáže, betonu nebo asfaltobetonu. [11]

### **5.2.2 Zához**

Zához se navrhuje tam, kde je zapotřebí ochránit patu svahu. Jedná se o těleso, které může být zapuštěné nebo částečně vystupující z břehu nebo dna koryta. Záhozy je možné navrhnout na březích větších toků, kde hladina vody je relativně vysoko nade dnem a tudíž nelze využít vegetační opatření. [11]

Provádí se z lomového kamene nebo z prefabrikovaných prvků. Zához se urovná na předepsanou tloušťku, aby bylo vytvořeno hutné těleso. Největší rozměr prvku by neměl být menší než trojnásobek nejmenšího rozměru. Nevyužívají se zaoblené nebo ploché prvky. Proti možnému vyplavování podloží se může provést filtrační vrstva nebo proštěrkování záhozu. Sklon svahu by neměl přesáhnout 1:1,25. Nevýhodou záhozu je rozměr jednotlivých prvků a obtížný přístup. [11] [21]

### **5.2.3 Rovnaniny**

Rovnaniny se využívají v blízkostech objektu, nebo jako opevnění patky. Jedná se o neopracovaný kámen, který se klade na sucho s vazbou běhounů nebo vazáků. Mezery se vyklínují a vyplní kamenivem o menší frakci. [11]





Obrázek 13: Kamenná rovnanina [18]

#### 5.2.4 Dlažby

- **Kamenné dlažby**

Opevnění kamennou dlažbou zajišťuje vysokou trvanlivost a odolnost, ale jen v případě kvalitního zpracování a údržby. Technologie provádění kamenné dlažby jsou:

***Dlažba na sucho*** – Před pokládáním dlažby musí být 10 cm podkladní vrstva. Spáry jsou vyplněny hrubým pískem. Využívá se k opevnění svahu běžných koryt.

***Dlažba se zalitím cementovou maltou*** – Spáry se zapěchují 7 cm od líce, prolíjí se vodou a následně se použije malta. Poté se spára očistí, aby zůstala 5 mm od líce. Používá se městských úsecích, kde je vyšší rychlost toku.

***Dlažba na cementovou maltou s vyspárováním*** – Malta tloušťky 3 cm se rozprostře na podkladní vrstvu a pokládají se jednotlivé kameny. Spáry se zasypou 7 mm pod povrch. Vyspárování se provede cementovou maltou. Navrhují se v exponovaných úsecích v blízkosti objektů. Maltu je možné rozprostřít i na betonový podklad. Podkladní vrstva musí být odvodněna.

***Dlažba do betonového lože*** – Dlažební kámen se klade do čerstvého betonu, jehož vrstva má mít  $\frac{1}{2}$  tloušťky dlažby. Spáry se zatřou cementovou maltou tak, aby zůstala 5 mm pod lícem. Podkladní beton musí být odvodněn například šterkopískovou podkladní vrstvou. Využívá se v místech s vyšším průtokem vody a pro ochranu dna a břehu koryta. [11]

- **Betonové dlažby**

Opevnění svahu může být prováděno kladením betonových dlaždic nebo betonováním přímo na svahu. Většinou je betonové opevnění použito v okolí, kde není dostatek lomového kamene. Minimální rozměr je 40x40 cm a tloušťka 10 cm. [18]

- **Trávobetonové dlažby**

Jedná se o betonové tvárnice s otvory, které plní funkci vzájemného spojení proudící vody v korytě a podzemní vody. Otvory, které se nachází pod hladinou vodou, se nevyplňují. Pro návrh tvaru tvárnice je důležité hydraulické zatížení. Tráva v otvorech zabraňuje erozním účinkům vody a vytváří lepší přístupové podmínky na svahu. V situaci, kdy je vegetační opevnění dostatečně zakořeněno, odolává trávobetonová dlažba rychlostí toku 3m/s. Osetí traviny je možné chránit nalepením síťoviny na betonovou dlažbu. Dlažbu je možné spojit v rozích ocelovými oky, pak se chová jako pružný rošt.[18] [22]

### 5.2.5 Nábřežní zdi

Většinou se jedná o zdi tvaru lichoběžníku. Sklon líce zdi může být 5:1 až 12:1. Důležitý je správný návrh založení a odvodnění zdi. Založení zdi je pod úroveň očekávaného prohloubení dna a do nezámrazné hloubky. Pro odvodnění je možné navrhnout drenážní otvory. V případě zvýšeného nebezpečí obrusu splaveninami se betonová zeď obloží kamenem, nejlépe žulou. Využívají se v intravilánech obcí a měst a v místech, kde dochází k vyššímu zatížení břehu. Provádí se jako betonové, zděné nebo z gabionových prvků. [18] [22]



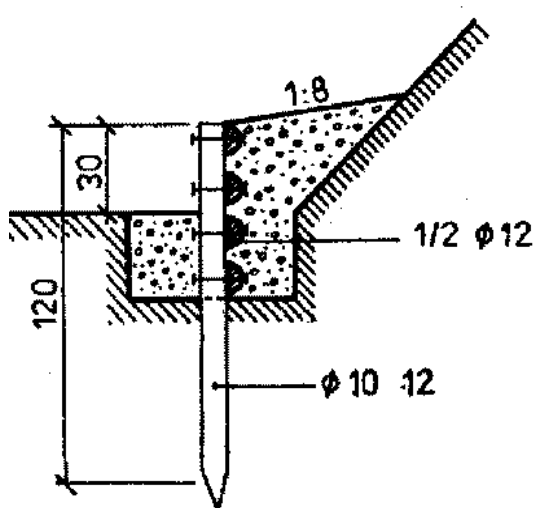
Obrázek 14: Pohled na nábřežní zeď v Plzni [20]

### 5.2.6 Laťový plůtek

Jedná se o podobnou metodu jako zápleťový plůtek, ale místo opletu jsou využity tyče o průměru 10 cm, půlené tyče nebo odkory. Veškeré prvky jsou ukotveny k základní konstrukci.

Kůly plůtku se zarážejí po vzdálenostech 1,5 m a poté jsou přibity tyče. Výška nade dnem je maximálně 30 cm a minimální hloubka založení je 30 cm pod terénem. Zhutněný zásyp za laťovou stěnou je proveden v mírném sklonu do koryta. V případě, že laťový plůtek je navržen na menším toku, je vhodné lavičku za plůtkem opevnit pohozelem.

Navrhují se k zabezpečení paty svahu zpevněných vegetačním způsobem. Laťový plůtek je dočasný zpevňovací prvek. [22]



Obrázek 15: Laťový plůtek [18]

### 5.2.7 Sruby

Dřevěná nebo betonová konstrukce, která je vyplněna lomovým materiálem nebo materiálem získaným na staveništi. Dřevěné sruby jsou jen dočasná konstrukce s životností 10 let. [22]

### 5.2.8 Drátokamenné matrace

Drátěná nebo svařovaná konstrukce, která je vyplněná lomovým kamenem, říčními valouny atd. Navrhují se jako opevnění strmých svahů, k ochraně paty svahu, ke stabilizaci štěrkonosných toků.



Obrázek 16: Drátokamenné matrace [23]

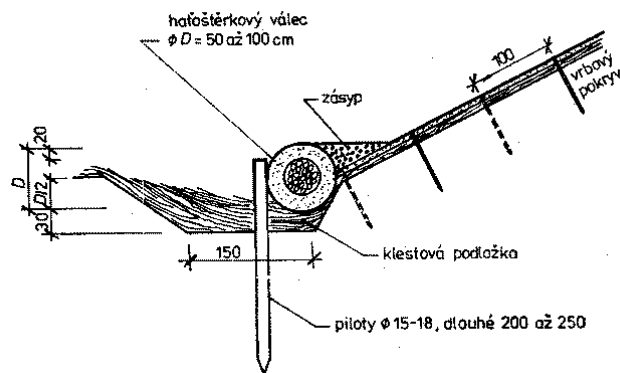
## 5.3 Kombinované opevnění

### 5.3.1 Hat'ové válce

Válec se vyrábí z vrbového proutí, které má délku minimálně 3 m a průměr 2-4 cm. Válec dosahuje velikosti průměru 20-60 cm o libovolné délce. Ovazuje se páleným drátem po 50-80 cm. V patě se upevňuje přivázáním k pilotám a zajistí se přísypem zeminy. Využívá se k ochraně paty svahu. [22]

### 5.3.2 Hat'ošterkový válec

Obal je tvořen z vrbového kletu a jádro je vyplněno štěrkem nebo jiným kamenivem. Průměr válce je 80-120 cm. Tloušťka obalu se pohybuje okolo 15-20 cm. Polovina válce je zapuštěná pod úroveň dna na kletovou podložku. Pokud je celý válec ponořen, je možné vytvořit obal z libovolného čerstvého proutí. Jestli je část válce nad vodou, tak je zapotřebí použít proutí vrbové. [22]



Obrázek 17: Haťošťerkový válec [23]

### 5.3.3 Haťošťerkové stavby

Střídají se vrstvy utažených haťových válečků a šterků. Vhodné pro svahy 1:1,5-1:2. Ochrana návodního líce je pomocí kamenného záhozu. Navrhují se pro opevnění pat břehu a pro asanaci nátrží. [22]

## 6. Charakteristika zájmové oblasti

### 6.1 Geomorfologie

Česká republika je dle geomorfologického členění velmi různorodá. Je členěna na dva systémy: Hercynský a Alpínsko-himalájský. Největší plochu území zaujímá Hercynský systém, který pokrývá více než  $\frac{3}{4}$  území ČR. Jihovýchodní a východní část náleží Alpínsko-himalájskému systému. Následně se systémy dělí na 4 subsystémy, 4 provincie, 10 subprovincií, 28 oblastí a 94 celků. [24]

Zájmová lokalita je geomorfologicky rozčleněna v tabulce č. 1.

Systém:	Alpínsko-himalájský
Subsystem:	Karpaty
Provincie:	Západní Karpaty
Subprovincie:	Vnější západní Karpaty
Oblast:	Západní Beskydy
Celek:	Hostýnsko-vsetínská hornatina
Podcelek:	Vsetínské vrchy

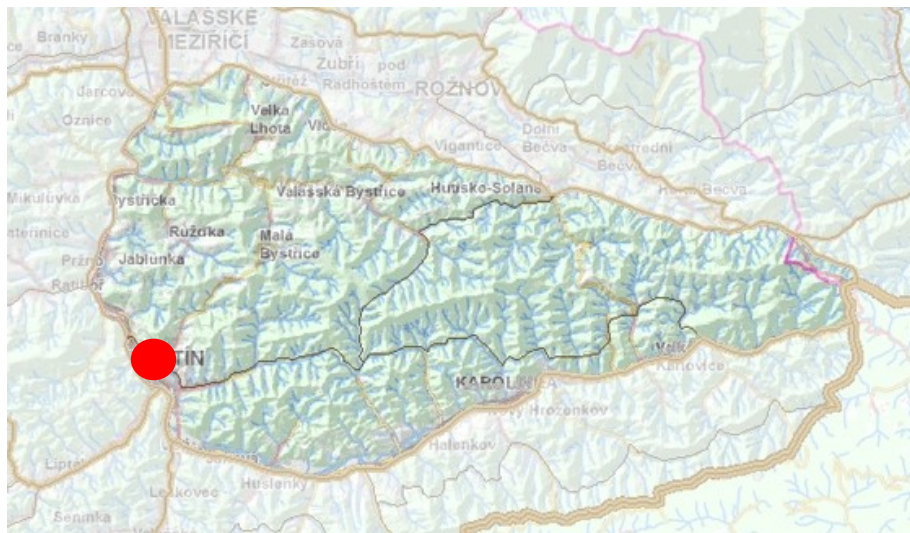
Tabulka 1: Geomorfologické rozdělení

Geomorfologický podcelek Vsetínské vrchy leží ve východní části celku Hostýnsko-vsetínská hornatina. Údolí Vsetínské Bečvy lemuje hranici mezi Vsetínskými a Hostýnskými vrchy. Jedná se o plochou hornatinu o ploše 338 km<sup>2</sup>, která je tvořena hlavním hřbetem, řadou vedlejších hřbetů a rozsoch. [25]

Jedná se o strukturně- a erozně-denudační strukturní reliéf se stopami tří stupňů mladotřetihorního zarovnání povrchu. Rozmanitost a prostorová diferencovanost reliéfu je zapříčiněna dlouhodobým vývojem území a působením celého souboru vnějších procesů. Charakteristické jsou ploché rozvodné hřbety a svahové spočinky. V oblasti se nachází suky, různé formy zvětrávání, místa balvanových proudů a mrazových srubů. V hlubokých údolích mezi hřbety dochází na svazích k četným sesuvům a k výskytu hlubinného ploužení. Vlivem hlubinného ploužení dochází k rozpadu vysokých hřbetů a vznikají povrchové i podzemní pseudokrasové tvary.



Podsvahové polohy budují hlinité a písčitohlinité, deluviální a proluviální sedimenty. Údolní nivy a dna suchých údolí jsou vyplněny deluviofluviálními a fluviálními sedimenty. [25] [26]



Obrázek 18: Oblast Vsetínských vrchů s vyznačením polohy řešeného sesuvu [25, úprava autor]

## 6.2 Geologie

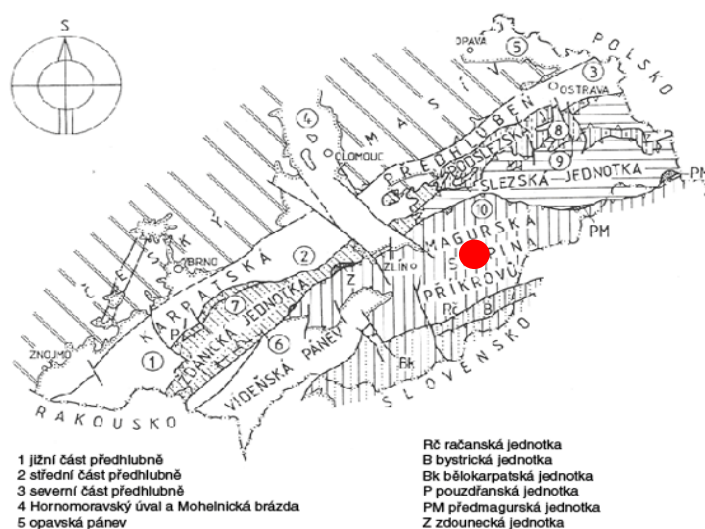
Z regionálně geologického hlediska je Česká Republika tvořena dvěma celky. Čechy, většina Moravy a Slezska jsou součástí Českého masivu. Východní část Moravy a Slezska náleží vnější části Západních Karpat.

Vnější oblast Západních Karpat je mnohem mladší než Český masiv. Byla zformována až procesy alpského vrásnění v časovém intervalu od svrchní křídý do terciéru. Je tvořena příkrovy mezozoických a terciálních hornin (flyšové Karpaty), které byly nasunuty na východní okraj Českého masivu. Dělí se na dva akreční flyšové komplexy a karpatskou předhlubeň. [27]

Zájmová oblast se nachází v Račanské jednotce, která leží v komplexu magurské skupiny příkrovů. Magurská skupina příkrovů se vyznačuje rytmicky zvrstvenými jednotkami, které jsou charakteristické pro flyšové pánve, dominují písčité členy nad jílovci, prachovci a hrubšími klastiky. Celková mocnost sedimentů dosahuje několika kilometrů. Na počátku každého cyklu se usazovaly nejhrubší usazeniny (slepence a hrubé pískovce), výše písčité jíly a jíly. [27] [28]

Račanská jednotka zahrnuje sedimenty albu až spod. oligocénu, které se vyznačují velkou faciální proměnlivostí.

Vývoj Račanské jednotky začal sedimentací v období křídý. V tomto období vznikají sedimentací tlumačovské slínovce o mocnosti 60 m. V nadloží tlumačovských slínovců následuje 500 m vrstva názvem Gault flyš. Jedná se o vrstvy černošedých jílovců, vápnitých jílovců s pískovci a zelenošedými jílovci. Následuje kaumberské souvrství, které má typický flyšový vývoj. Objevují se zde rudohnědě a zeleně zbarvené jílovce. Nad kamberským souvrstvím vzniklo faciálně různorodým vývojem soláňské souvrství, kde se vyskytují velké mocnosti pískovců a slepenců. Soláňské souvrství je faciálně rozděleno na ráztocké vrstvy, hostýnské vrstvy a lukovské vrstvy. Zájmová oblast se nachází v ráztockých vrstvách, ve kterých se střídají složky jílovců a lavice pískovců zpravidla mocné do několika málo decimetrů. Následuje mladší vrstva Račanské jednotky, která je označena jako belovežské souvrství o mocnosti 200 m. Střídají se zde několika centimetrové mocné vrstvy jemnozrnného pískovce se zelenošedými a rudohnědými jílovci. V nadloží belovežského souvrství se nachází zlínské souvrství, kde dochází opět k výrazné faciální různorodosti sedimentačního prostoru. Mocnost vrstvy dosahuje 3000 m. Vsetínské vrstvy jsou nejvyšší a nejmladší částí Račanské jednotky. Vyznačují se naprostou převahou více decimetrů mocných poloh, šedých a zelenošedých vápnitých jílovců nad vrstvami pískovců s glaukonitem. Jejich mocnost přesahuje 1500 m. [25]



Obrázek 19: Schéma regionálního geologického členění Západních Karpat s vyznačením zájmového území [25, úprava autor]



Nad Račanskou jednotkou se nalézají pokryvy kvarterních usazenin. Jedná se o soudržné a nesoudržné deluviální, eolické a fluviální sedimenty. Jejich mocnost se pohybuje v řádu maximálně několika metrů. Deluviální sedimenty jsou charakterizovány pestrou škálou uloženin vzniklých v závislosti na substrátu a tvaru terénu: sutě, kamenná moře, svahové hlíny, přemístěné jíly aj. V zájmové oblasti se jedna většinou o hlinitokamenité a písčítokamenité sutě. Eluviální sedimenty jsou výsledkem činnosti mechanického zvětrávání Račanské flyše. Fluviálními sedimenty se tvoří podél toku řek. Jedná se o povodňové jíly. [25]

## 6.3 Hydrogeologie

- **Podzemní vody**

V okolí zájmové lokality jsou nepříznivé hydrogeologické poměry. Málo propustné horniny karpatské flyše negativně ovlivňují výskyt a oběh podzemních vod.

Okres Vsetín se většinou nachází z hydrogeologického hlediska v rajonu 322 a sub-rajonu 322-1-Povodí Bečvy. Rajon 322 je charakterizován puklinovými podzemními vodami ve zpevněných paleogenních horninách. Jedná se o jílovce, slínovce a břidlice. Malá část okresu je v rajonu 163, pro který je typická průlinová propustnost ve fluviálních sedimentech, vysokých a středních říčních teras, zachovalých ve zbytcích podél celého toku Bečvy. U těchto podzemních vod není hydrogeologická spojitost s povrchovými toky. Průlinová propustnost také nastává ve štěrkovitých, štěrkopísčitých a písčitých sedimentech údolních niv Bečvy. V tomto případě podzemní voda má hydrogeologickou spojitost s povrchovým tokem.

Zdroje podzemních vod mají obvykle malou a kolísavou vydatnost. Příznivější podmínky se nachází v říčních sedimentech a mocnějších zvětralinách při úpatí svahů překrývajících údolní nivu. [26]

- **Povrchové vody**

Povodí zájmového území náleží úmoří Černého moře. Povrchové vody jsou odváděny korytem řeky Bečvy, která se následně vlévá do Moravy. Povodí Bečvy je největší levostranný přítok řeky Moravy. Řeka Bečva vzniká soutokem mohutnější Vsetínské Bečvy a Rožnovské Bečvy. Její délka je 120,2 km s plochou povodí 1627 km<sup>2</sup> a průměrným ročním průtokem na soutoku s Moravou 18 m<sup>3</sup>/s. V okrese Vsetín dosahuje tok Bečvy celkové délky 70 km. [26]

Vsetínská Bečva pramení na svazích Trojačky, která se nachází ve výšce 880 m. Po 59,5 km dlouhém toku dochází k soutoku Rožnovské Bečvy. Do Vsetínské Bečvy se vlévají menší přítoky, jako jsou Stanovnice, Kychova, Senice, Rokytenka a Ratibořka. Plocha povodí Vsetínské Bečvy je 734,39 km<sup>2</sup> a její průměrný průtok na soutoku s Rožnovskou Bečvou je 9,21 m<sup>3</sup>/s. [30]

V jarních měsících je dosažena na Vsetínské a Rožnovské Bečvě nejvyšší úroveň vodní hladiny. Nejnižší úroveň hladiny se vyskytuje v září. V důsledku malé retenční schopnosti hornin a kolísavých srážek dochází k rozkolísanosti odtoku, která způsobuje nízké hodnoty minimálních průtoků a vysoké hodnoty kulminačních průtoků povodňových vln. [26]

## 6.4 Svahové nestability v zájmovém území

Vsetín se nachází na území Vsetínských vrchů, které je velmi náchylné k sesuvům půdy. Nejstarším zdokumentovaným rozsáhlým sesuvem byl v lokalitě Hošťálková, kde došlo k porušení 6 staveb a vzniku jezírka v důsledku přehrazení potoka čelem sesuvu. Další významný sesuv byl v Karolince, kde geologický průzkum prokázal výskyt smykových ploch až v 70 m. Následkem povodňových záplav v roce 1997 bylo zaregistrováno přes 500 sesuvů. Některé z nich dosahovaly délky až 1000 m a několika set metrů šířky. [26]

Zájmová lokalita je součástí rozsáhlého svahového pohybu, který je zapsán v databázi svahových nestabilit. Jedná se o aktivní svah délky 500 m. Ploužení a sesouvání se projevuje nakloněním stromů. Některé stromy byly z důvodu bezpečnosti pokáceny. Po celé oblasti je pata svahu chráněna opěrnou zdí. Z obrázku č. 20 je vidět, že se jedná o červeně zbarvenou oblast č. 83. V minulosti se potýkal s problémy kostel Panny Marie [29]

Jihozápadně od Palackého ulice se nachází aktivní sesuvná oblast č. 4 a severně stabilizovaný svah s číslem 2190.



Obrázek 20: Mapa svahových nestabilit [31, úprava autor]

## **7. Analýza stávajícího stavu zájmové oblasti**

Zájmová oblast se nachází ve východní části Vsetína, mezi řekou Bečvou a ulicí Palackého. Jedná se o městskou část Horní Město.

V současné době se připravuje oprava silnice č. III/05736 a přilehlého chodníku v ulici Palackého ve Vsetíně. Započetí práce se odhaduje na rok 2016.

### **7.1 Průzkum terénu**

V lokalitě byla provedena prohlídka svahu, nábrežní zdi a přilehlé zástavby za účelem posouzení stávajícího stavu a pozdější návrh sanačních opatření.

- **Zájmový svah**

Pravobřežní svah vznikl boční erozi řeky, která má erozní bázi o 25m níže, než báze vyšší terasy. Na nárazové straně řeky Bečvy jsou postaveny nábrežní zdi, které stabilizují svah. Příčný sklon svahu se pohybuje od 30° do 45°. Při prudkém sklonu se mocnost svahových sedimentů mění. Svahové sedimenty budou mít oproti vyšší štěrkovité terase menší ulehlost. Od silničního mostu se výška a sklon svahu zvětšuje v závislosti na zvyšující se niveletě souběžné silnice. Povrch svahu je velmi členitý, místy se vyskytují menší a větší erozní rýhy. Z roviny svahu vyčnívají nakupené vrstvy zeminy důsledkem ploužení povrchové vrstvy zeminy. Jedna se však pouze o menší plochy, poněvadž stromy a jejich kořenové systémy svah povrchově i hloubkově zpevňují. V některých místech ploužení zeminy zasáhlo korunu nábrežní zdi a zemina občas přepadá do řeky. Porost svahu tvoří listnaté stromy, které v některých místech mají mírný náklon svahu, svědčící o dříve proběhlých mírných deformačních pohybech svahových zemin.

Podél silnice č. III/05736 se nalézá řada starších, ale i novějších staveb, které nevykazují známky deformací v důsledku svahového pohybu.



Obrázek 21: Pohled na zájmovou oblast [autor]

Nejaktivnější oblast délky cca 60 m se nachází přibližně 60 m od silničního mostu. Svah má v tomto úseku sklon přibližně  $37^\circ$  a výšku 7 m. Jsou zde vidět nakloněné stromy, odhalené kořeny. Ve spodní části svahu se nachází akumulací zóna. Viditelné deformace jsou patrné v oblasti chodníku, také dochází k deformacím samotného tělesa vozovky (viz obrázek 22). V příloze 1 se nachází podrobná situace zájmového území.



Obrázek 22: Zájmová oblast [30, úprava autor]

Příčinou sesuvných pohybů ve svahu nad pravobřežní zdí jsou pravděpodobně povrchové srážky. V důsledku zatékání povrchové vody ze zpevněných ploch se vytvářejí erozní rýhy a dochází ke splavování svahových usazenin.



Srážky se vsakují do propustných poloh relativně mělké kvartérní vrstvy. Ke zhoršení stavu také může docházet při vzdouvání hladiny podzemní vody, která se nachází v propustném prostředí flyšových sedimentů. Další příčinou pohybů svahu je neudržovaná vegetace.

V zájmu zajištění stability svahu je třeba zabránit pronikání povrchové vody do svahu, které by mělo být dosaženo rekonstrukcí chodníku a komunikace.



Obrázek 23: Deformace chodníku [autor]

- **Nábřežní zeď**

V letech 1989-90 byla rekonstruována nábřežní zeď. Původně se jednalo o kamennou zeď, která byla narušena zvětráváním a vyplavováním maltového pojiva. Na některých místech už docházelo k vypadávání zdiva a k řícení zdi. Původní návrh sanace zdi byla výstavba nové předsazené zdi v korytě řeky, ale to by mělo za následek zúžení koryta a tím i zvednutí hladiny vody. Proto se využila metoda hřebíkování zemin, kde došlo k zapojení zeminy do nosného stavebního prvku.

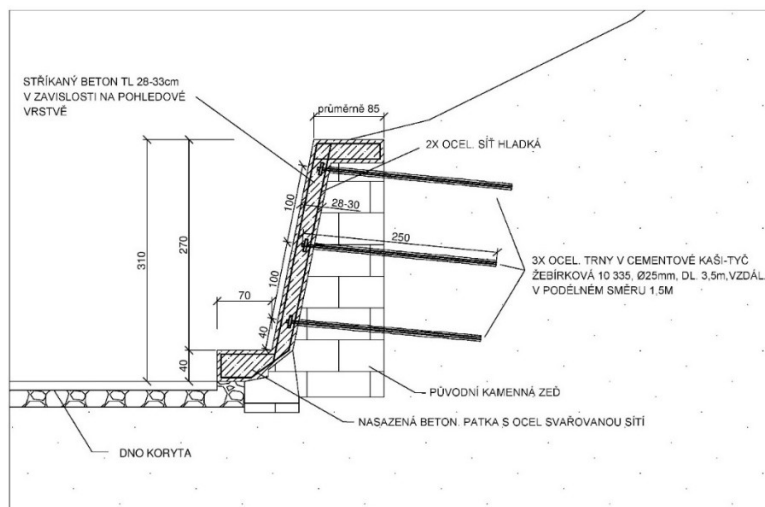


Obrázek 24: Pohled na nábrežní zeď [autor]

Před začátkem hřebíkování se opravilo vypadlé a rozvolněné kamenné zdivo. Byly provedeny vrty  $\varnothing 80$  mm po vzdálenostech 1,5 m, do kterých byly zavedeny hřeby s cementovou zálivkou. Jedná se o hřeby  $\varnothing 25$  mm, délky 3,5 m. Krycí vrstva stříkaného betonu je vyztužena dvěma vrstvami ocelové síťoviny.

Pro dokončení zdí byl zhotoven betonový pohled, který odolává erozním a abrazivním účinkům proudící vody. Celková vrstva stříkaného betonu se pohybuje okolo 30 cm. Odvodnění je řešeno pomocí odvodňovacích otvorů ve zdi. Zeď byla dimenzována na možné přetížení cyklostezkou v koruně zdi. Schéma konstrukčního provedení zdi je znázorněno na obrázku č. 25

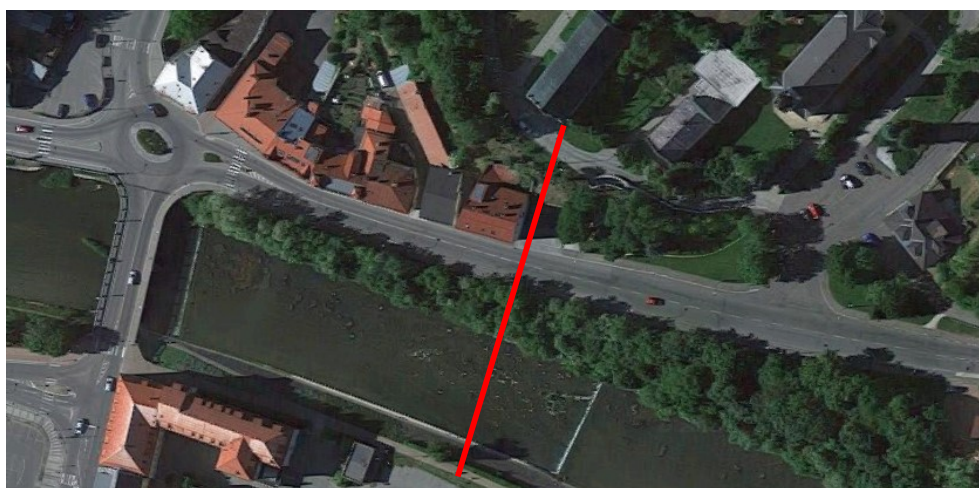
V současnosti nábrežní zeď nevykazuje deformace, tudíž pravděpodobně neovlivňuje deformace v horní části svahu.



Obrázek 25: Schéma provedení nábrežní zdi [32, úprava autor]

## 7.2 Geodetické měření

Pro posouzení stability svahu byl zvolen profil, který se nachází v místě největších deformací (obrázek č. 26). Profil musí být dostatečně dlouhý, aby byl zachycen i terén neporušeného území pod a nad svahem. Řez byl tedy veden od kostela přes problémový svah až k druhému břehu Vsetínské Bečvy. Pro zaměření byla použita totální stanice LEICA TC 2003, která vyhovovala měřícím požadavkům.



Obrázek 26: Naměřený profil v zájmové oblasti [30, úprava autor]

## 7.3 Vrtná prozkoumatelnost

Pro zjištění geologických poměrů zájmového území byly využity podklady z vrtné prozkoumanosti, které se nachází v archívu Geofondu. V blízkosti lokality byly vybrány dokumentace vrtu S-6, J-1, S-1, V-222. Po analýze geologických profilů vrtu byla zjištěna různorodost vrstev u jednotlivých vrtů. Musely být provedeny nové vrty V-1, V-2. Na základě naměřeného řezu byl využit geologický profil vrtu V-1. Jednotlivé polohy vrtů jsou znázorněny na obrázku č. 25

Vrt V-1 byl proveden polovině června 2015 a dosahuje hloubky 8 m.

Pod komunikací se nachází konstrukční vrstva z makadamu typu šterku dobře zrněného. V oblasti svahu se vyskytují svahové sedimenty charakteru jílovotopísčitých hlín, které se mohou pohybovat o mocnosti 1-1,5 m.

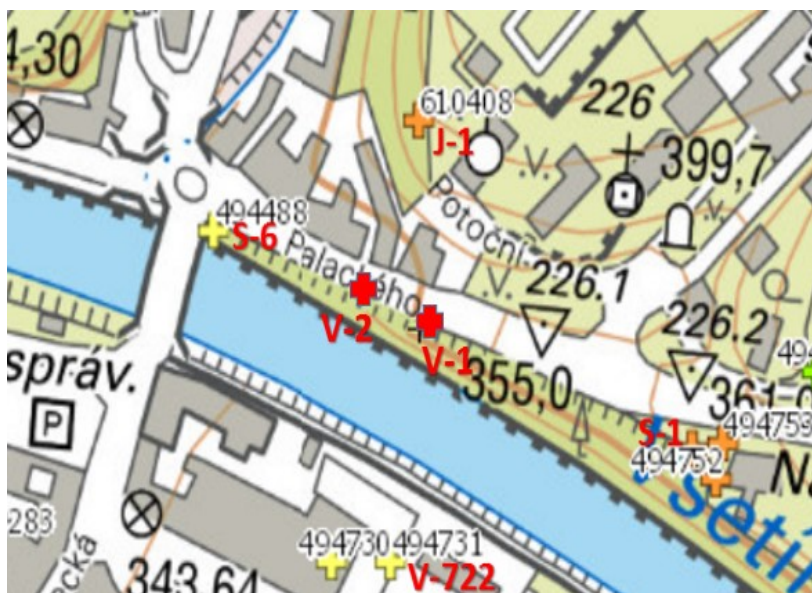


V kvartéru se nachází vrstvy štěrku jílovitého, které dosahují mocnosti 3,5m. Jsou charakteristické šedohnědou barvou, valouny do 5-7 cm a střední ulehlosti.

V hloubce 4 m pod terénem se už nachází vrstva zcela zvětralého jílovce charakteru zeminy jílovitého štěrku. Vyznačuje se šedohnědou až tmavě hnědou barvou a jeho konzistence je tuhá až pevná.

Vrstva zcela zvětralého jílovce charakteru zeminy jílovitého štěrku se nachází v hloubce 6,5 m. Jílovec je tmavě hnědý a má pevnou konzistenci. V této vrstvě se pohybuje hladina podzemní vody v hloubce 7 m nad terénem.

V korytě řeky Bečvy se nachází krycí vrstva, která je tvořena směsí písků, štěrků, kamenů a balvanů, které odolávají silám proti zahlubování koryta. Pod krycí vrstvou je uložena neroztříděná splaveninová směs, ve které se vyskytují zrna od nejmenší až po největší rozměry.



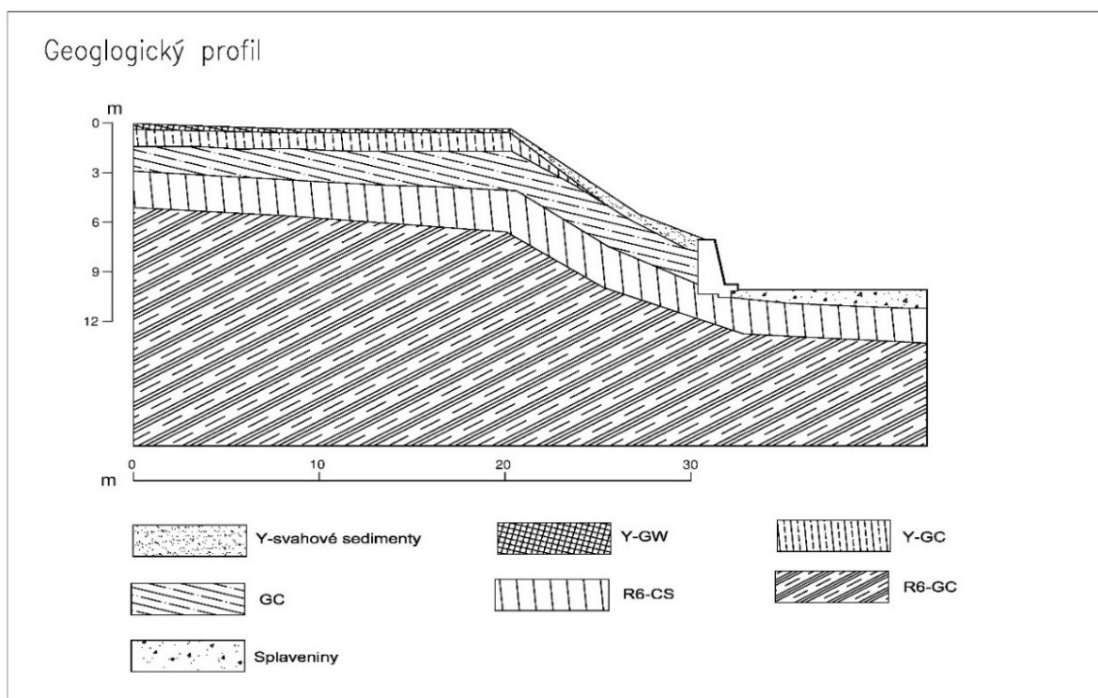
Obrázek 27: Vrtná prozkoumatelnost Geofond [31]

## 8. Modelová analýza stávajícího stavu

K vypracování matematického modelu byl použit program GEO5 verze 2016, respektive moduly Stabilita svahu a MKP. Stabilita svahu a nábrežní zeď byly posuzovány na naměřeném profilu, který byl vytvořen na základě geodetického měření v softwaru Autocad 2012. Parametry zemin pro modelování byly zvoleny ze směrných normových charakteristik normy ČSN 73 1001 (viz tabulka 2).

typ zeminy	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	$\varphi$ (°)	E (MPa)	$\nu$
Y-svahové sedimenty	19	20	6	26	8	0,35
Y-makadam GW	21	22	0	41	420	0,2
Y- štěrk jílovitý GC	19,5	20,5	6	30	50	0,3
Štěrk jílovitý GC	19,5	20,5	4	25	50	0,3
Zvětralý jílovec R6-CS	18,5	19,5	20	25	8	0,35
Zvětralý jílovec R6-GC	19,5	20,5	6	30	50	0,3
Splaveniny	19	20	0	32	145	0,25

Tabulka 2: Parametry zemin



Obrázek 28 Schématický geologický řez

V rámci posouzení stávajícího stavu byly řešeny dvě návrhové situace. První situace znázorňuje běžný stav, kdy hladina podzemní vody se nachází 7m pod úrovní komunikace. Druhá situace představuje kritický stav, kdy jsou zeminy 100% satureovány vlivem srážek. Stabilita byla spočtena metodami mezní rovnováhy a poté metodou konečných prvků.

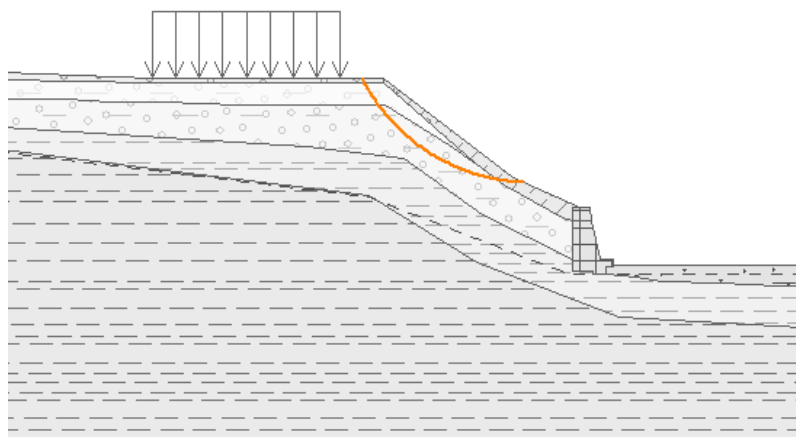
## 8.1 Zájmový svah

Posouzení bylo provedeno standartním výpočtem bezpečnosti. Stabilita byla zpracována v modulu GEO5-Stabilita svahu, která počítá stupně stability na základě metody mezní rovnováhy. Smyková plocha byla zadána jako kruhová. Pro vyhodnocení se použily proužkové metody Bishop a Petterson.

V modulu GEO5-MKP je stupeň stability stanoven pomocí redukce skutečných hodnot úhlu vnitřního tření  $\varphi$  a soudržnosti zeminy  $c$  vedoucí k porušení stability. Byl zvolen materiálový model Drucker-Pragerův, ve kterém jsou vstupními parametry modul pružnosti, Poissonovo číslo, úhel vnitřního tření a soudržnost zeminy. Modeluje se ustálený stav po redistribuci pórových tlaků a využívají se efektivní parametry pevnosti. Výpočtový proces iterace byl řešen Newton-Raphson metodou. Výstupem jsou pouze deformace ve směru X, Z a plastické přetvoření.

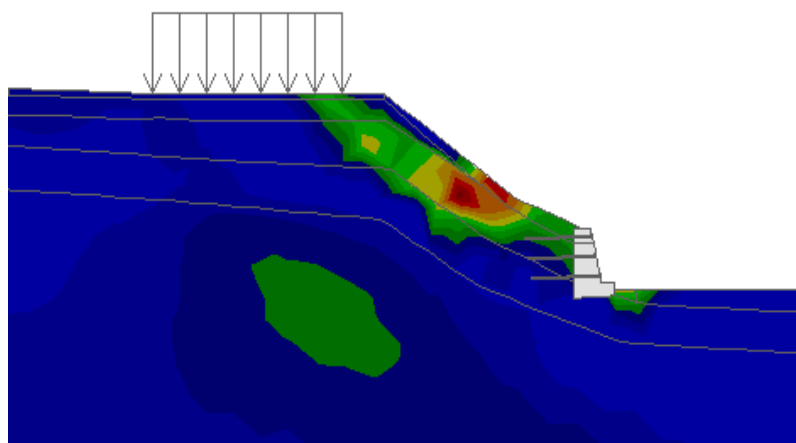
V modelové situaci zájmového svahu se nachází proměnné pásové zatížení od dopravy o velikosti 20 kN/m<sup>2</sup>. Nábřežní zeď je řešena jako tuhé těleso. Sklon svahu se pohybuje okolo 37° a výška od koruny zdi je cca 7 m.

Pro běžný stav se vyskytuje smyková plocha ve vrstvě štěrku jílovitého a její začátek je v oblasti chodníku. Smyková plocha je znázorněna na obrázku č. 29. Podle Bishopa vychází stupeň stability 1,3. Nejmenší hodnota 1,23 vychází dle Pettersona, který nezohledňuje působení sousedních proužků.



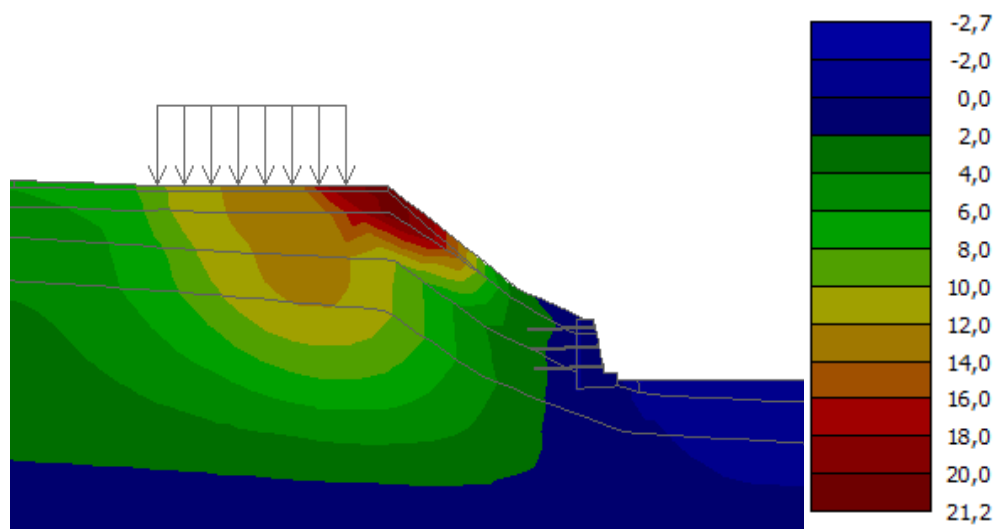
Obrázek 29: Smyková plocha pro běžný stav

Pro porovnání byl model vytvořen v modulu GEO5-MKP, kde byly zjištěny průběhy deformací svahového tělesa a jeho plastické přetváření, které je viditelné na obr. 30. Stupeň stability vychází 1,33. Rozdíl oproti metodě Bishop je minimální. Poloha kritické smykové plochy je prakticky shodná s řešením pomocí metody mezní rovnováhy.

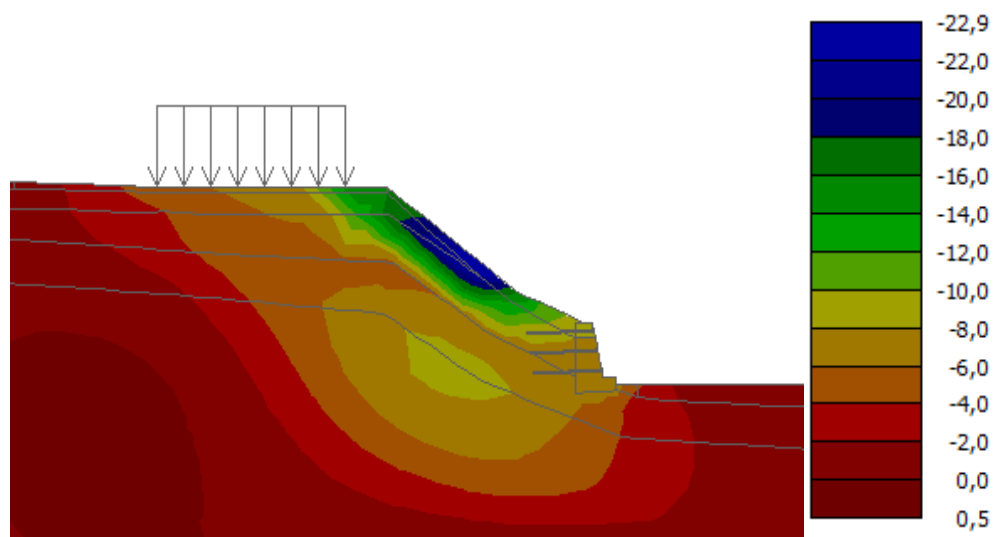


Obrázek 30: Plastické přetvoření - běžný stav

Výstupy hodnot deformace tělesa odpovídá stavu výpočtu pro redukované parametry zemin. Podává obraz chování celého svahu. Nemá tedy se skutečnou deformací nic společného. Na obrázku č. 30 vychází největší deformace v oblasti chodníku.

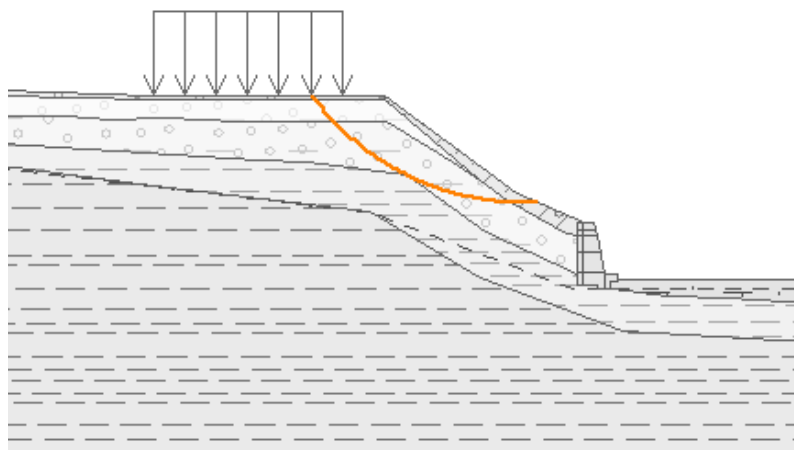


Obrázek 31: Svislé posuny (mm) - běžný stav



Obrázek 32: Vodorovné posuny (mm) - běžný stav

V případě kritické situace (2. návrhová situace), kdy je zemina 100% saturována, dochází ke snížení stupně stability. Metodou Bishop vychází hodnota stupně stability 0,89 pro smykovou plochu, která zasahuje do komunikace. Průběh smykové plochy je znázorněn na obrázku č. 33. Při modelování metodou konečných prvků dosahuje hodnota stupně stability na 0,73.



Obrázek 33: Smyková plocha - kritický stav

Ve skutečnosti bude hodnota stupně stability pro stávající situaci pravděpodobně vyšší z důvodu kořenového systému ve svahu, absencí výsledků polních / laboratorních zkoušek pro stanovení parametrů zemin a dále vlivem možných jiných úklonů vrstev. Jednotlivé výsledky stupňů stability jsou uvedeny v tabulce č. 3

	Metody		
	Bishop	Petterson	MKP
Stupeň stability Běžný stav (HPV = 7m)	1,3	1,23	1,33
Stupeň stability Kritická situace	0,89	0,83	0,73

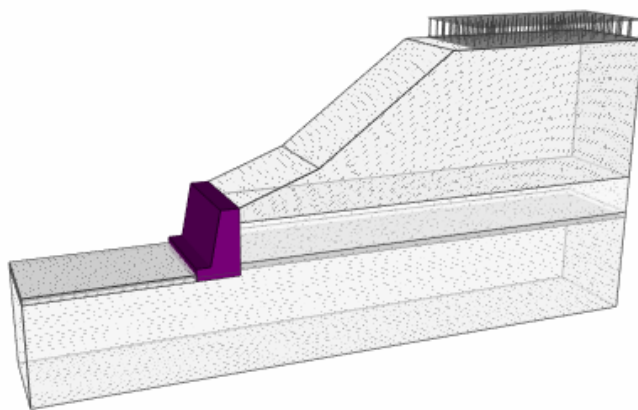
Tabulka 3: Přehled stupňů stability stávajícího stavu

## 8.2 Nábrežní zeď

Posouzení bylo provedeno v modulu GEO5-Tížná zeď pro běžnou a kritickou situaci. Program řeší posouzení silovými metodami založenými na využití metod mezní rovnováhy. Zeď musí odolávat zemním tlakům od strmého svahu a dopravnímu zatížení. Jedná se o zděnou zeď, která je upravena metodou hřebíkování.

V první fázi posouzení se uvažuje pouze zeď bez hřebů. V druhé fázi se řeší zeď s hřeby. Výstupem je stabilita proti překlopení, posunutí a únosnost základové půdy. Vyhodnocení bylo provedeno podle tří návrhových přístupů normy EN 1997.

Pro stávající stav byla hladina podzemní vody lokalizována v úrovni hladiny vody v korytě řeky. Pro konzervativnější přístup není odpor na lici uvažován. Hodnota od dopravy je  $20 \text{ kN/m}^2$ . Rozměry a tvar zdi jsou patrné z obrázku č. 25. Sklon svahu dosahuje  $37^\circ$ . Úhel tření mezi zeminou a rubem zdi je uvažován  $\delta = 2/3\varphi$ . Byla zvolena tabulková výpočtová únosnost zeminy  $R_{dt} = 200 \text{ kPa}$ , která odpovídá jílu písčitému.



Obrázek 34: Zeď bez hřebů

V tabulce jsou znázorněny výsledky tří návrhových přístupů dle normy EN-1997. Moment vzdorující vychází ve všech přístupech větší než moment klopící. Problém nastává ve stabilitě proti posunutí, kdy vodorovné složka  $H_{res}$  je větší než vodorovná složka  $H_{act}$ .

Konstrukce (běžná situace)	Návrhové přístupy	Posouzení na překlopení		Posouzení na posunutí		Posouzení únosnosti ZP	
		$M_{res}$ (kN/m/m)	$M_{ovr}$ (kN/m/m)	$H_{res}$ (kN/m)	$H_{act}$ (kN/m)	$R_d$ (kPa)	$\sigma$ (kPa)
Zeď bez hřebů	1NP - KOMBINACE 1	214,02	113,55	91,95	112,01	200	86,42
	1NP - KOMBINACE 2	204,38	130,27	66,11	122,46	200	109,29
	2NP	152,87	113,55	83,59	112,01	142,83	86,42
	3NP	204,38	130,27	66,11	122,46	200	109,29

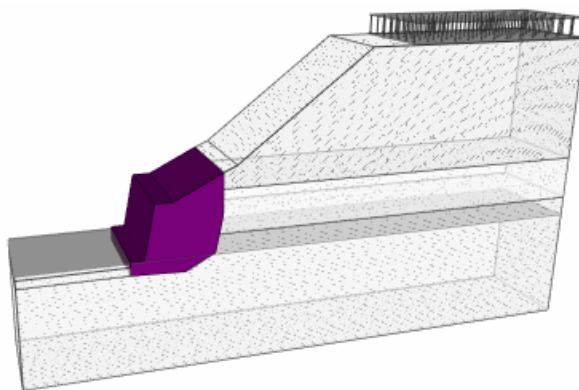
Tabulka 4: Výstupy - zeď bez hřebů pro běžnou situaci

Pro kritickou situaci byl výpočet realizován s pomocí totálních parametrů pevnosti. Z výsledku je vidět, že se snížily hodnoty momentu a vodorovných sil. Opět není dosaženo vhodné stability proti posunutí a v 2NP nevyhoví zeď na stabilitu proti překlopení. Je zde vyzorováno zvýšené napětí na základovou spáru.

Konstrukce (kritická situace)	Návrhové přístupy	Posouzení na překlopení		Posouzení na posunutí		Posouzení únosnosti ZP	
		$M_{res}$ (kN/m/m)	$M_{ovr}$ (kN/m/m)	$H_{res}$ (kN/m)	$H_{act}$ (kN/m)	$R_d$ (kPa)	$\sigma$ (kPa)
Zed' bez hřebů	1NP - KOMBINACE 1	162,47	118,6	66,51	119,31	200	132,19
	1NP - KOMBINACE 2	157,76	116,9	51,75	115,4	200	136,16
	2NP	116,05	118,6	60,46	119,31	142,86	132,19
	3NP	157,76	116,9	51,75	115,4	200	136,16

Tabulka 5: Výstupy - zed' bez hřebů pro kritickou situaci

Při posouzení zdi s hřebi v modulu GEO5 tížná zed' není možné implementovat do zdi hřebíkové prvky. Je však možné řešit hřebíkování silovou metodou, kde hřebíkový objem zemin vytváří fiktivní konstrukci opěrné stěny. Byl vytvořen tedy monolit, který zahrnuje tížnou zed' a hřebíkový objem zemin. Uvažovaly se hřebi délky 3,5m, které jsou zabudovány do zdi pod úhlem 5°



Obrázek 35: Zed' s hřebi

Konstrukce (běžná situace)	Návrhové přístupy	Posouzení na překlopení		Posouzení na posunutí		Posouzení únosnosti ZP	
		$M_{res}$ (kN/m/m)	$M_{ovr}$ (kN/m/m)	$H_{res}$ (kN/m)	$H_{act}$ (kN/m)	$R_d$ (kPa)	$\sigma$ (kPa)
Zed' s hřebi	1NP - KOMBINACE 1	895,14	356,35	203,87	140,23	200	140,78
	1NP - KOMBINACE 2	858,64	385,69	160,23	152,87	200	106,59
	2NP	639,39	356,35	185,34	140,23	142,86	10,78
	3NP	858,64	385,69	160,23	152,87	200	140,74

Tabulka 6: Výstupy - zed' s hřebi pro běžnou situaci



Konstrukce (kritická situace)	Návrhové přístupy	Posouzení na překlopení		Posouzení na posunutí		Posouzení únosnosti ZP	
		$M_{res}$ (kN/m/m)	$M_{ovr}$ (kN/m/m)	$H_{res}$ (kN/m)	$H_{act}$ (kN/m)	$R_d$ (kPa)	$\sigma$ (kPa)
Zed' s hřebí	1NP - KOMBINACE 1	724,23	144,12	185,87	35	200	128,96
	1NP - KOMBINACE 2	708,96	199,62	147,88	51,17	200	95,07
	2NP	517,31	144,12	168,98	35	142,86	128,96
	3NP	708,96	199,62	147,88	51,17	200	128,38

Tabulka 7: Výstupy - zed' s hřebí pro kritickou situaci

Z hodnot v tabulkách č. 6 a 7 je patrné, že zed' s hřebí je stabilní. V návrhovém přístupu NP1 - kombinace 2 a NP3 vychází nejnižší vyhovující stabilita proti posunutí (NP = návrhový přístup). Výsledky jsou ovlivněny sklony jednotlivých vrstev, které jsou zadány v rovnoběžném směru a nevypovídají o přesné vrstevnatosti svahu. Pokud by docházelo k nestabilitě zdi, je potřeba zabudovat opěrnou konstrukci za zed', například pilotovou stěnu.

Součástí posouzení zdi s hřebí je posudek únosností jednotlivých hřebů, který byl vyhodnocen modulu GEO5-Hřebíkový svah. Jedná se o tři řady vrtu o  $\varnothing 80$  mm, ve kterých jsou zabudovány ocelové hřebí  $\varnothing 25$  mm typu J 10 335. Osová vzdálenost řad je 1m. Z orientačních hodnot GEO5 bylo zvoleno mezní plášťové tření pro vrstvu svahových sedimentů  $q_s = 80$  kPa a pro vrstvu štěrku jílovitého  $q_s = 120$  kPa.

Na základě vyhodnocení pevnosti proti přetržení, únosnosti na vytržení a únosnosti hlavy hřebu byla porovnána nejmenší hodnota s nutnou silou hřebu. Nejmenší hodnota vyšla v únosnosti hřebu na vytržení. Výsledky únosnosti hřebu jsou zobrazeny v tabulce č. 8. Pořadí hřebů je od koruny zdi.

Návrhový přístup	Číslo hřebu	Únosnost hřebu	Síla hřebu
1NP-kom. 1	1	70,37	2,41
	2	105,56	26,31
	3	105,56	47,75
1NP-kom. 2	1	70,37	5,47
	2	105,56	31,18
	3	105,56	53,47
2NP	1	70,37	2,41
	2	105,56	26,31
	3	105,56	47,75
3NP	1	70,37	5,47
	2	105,56	31,18
	3	105,56	53,47

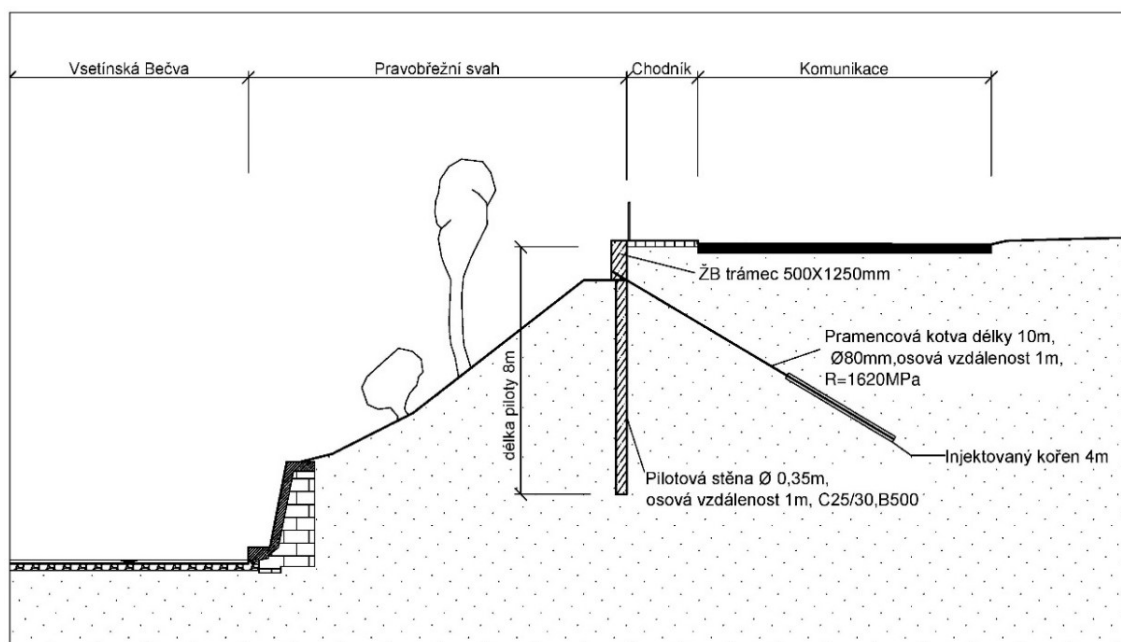
Tabulka 8: Výstupy - únosnost hřebů

## 9. Návrh sanačního opatření

Je nutné navrhnout silový prvek, který odolá aktivním silám sesuvu. Bylo zvoleno sanační opatření ve formě pilotové stěny, která bude umístěna v horní části svahu v blízkosti chodníku. Je navržena 60 m pilotová stěna, s vrtanými pilotami předpokládaného průměru 0,35 m, délky 8m, osové vzdálenosti 1 m. Minimálně třetina délky piloty se bude nacházet ve stabilních zvětralých flyšových sedimentech.

Betonáž pilot se provede betonem typu C25/30. Do vrtů se osadí armakoše z oceli B 500. Armakoše jsou vytaženy do ŽB trámu. Po realizaci vrtaných pilot se před pilotovou stěnou provede snížení terénu.

Takto navržená stěna je posouzena a výsledky srovnány s variantou kotvené pilotové stěny. Kotvicí prvek je navržen pramencový s injektovaným kořenem. Celková délka kotvy je 10 m. Kotva je ze 4 pramenců o průměru 15,5 mm z oceli s mezní pevností  $R = 1620 \text{ MPa}$ . Pro zálivky vrtů a vysokotlakou injektáž kořene bude použita směs cementu.



Obrázek 36: Schéma pilotové stěny v situaci

## 10. Analýza sanačního opatření

Pilotová stěna je modelována na kritickou situaci, kdy je zemina 100% saturována. Pro správnou stabilizační funkci musí pilotová stěna protínat smykovou plochu a mít patu dostatečně hluboko. Na pilotu působí aktivní síla  $F_a$ , která se jí snaží posunout a pasivní síla  $F_p$ , která ji stabilizuje. Rozdíl aktivních a pasivních sil nám dává namáhání piloty.

Stupeň stability pro kritickou situaci (Bishop)

$$F = \frac{F_p}{F_a} = \frac{203,06}{227,46} = 0,89$$

Požadovaný rozdíl, který musí pilota přenést, aby se zvýšila hodnota stupně stability na 1,5 :

$$F = \frac{F_p}{F_a} = \frac{203,06}{227,46} = 1,5 \Rightarrow 1,5 \cdot 227,46 - 203,06 = 138,13 \text{ kN/m}$$

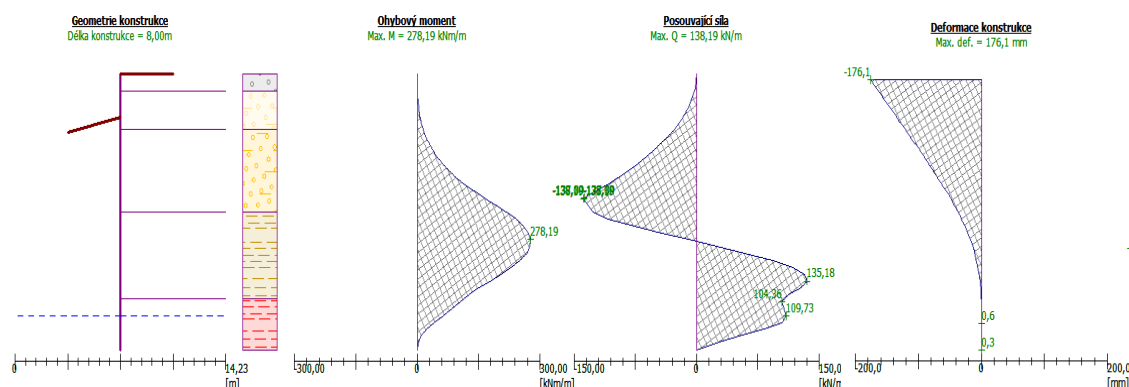
Posouzení pilotové stěny bylo provedeno v modulu GEO5-Stabilizační pilota, která umožňuje zadat zatížení nad předpokládanou smykovou plochou. Statický výpočet je řešen metodou závislých tlaků.

Metoda závislých tlaku nahrazuje řešenou oblast nosníkem na pružných podporách, kde zatížení konstrukce zemním tlakem odpovídá deformaci konstrukce. Modul reakce podloží byl zvolen podle Schmitta, který užívá vztah závislý na edometrickém modulu zeminy a ohybové tuhosti konstrukce.

Parametry piloty		Parametry kotvy	
délka (m)	8	volná délka (m)	6
průměr (m)	0,35	délka kořene (m)	4
osová vzdálenost (m)	1	osová vzdálenost (m)	1
třída betonu	C25/30	průměr (m)	0,08
třída oceli	B500	modul pružnosti (MPa)	210 000
		předpínací síla (kN)	90

Tabulka 9: Vstupní parametry piloty a kotvy

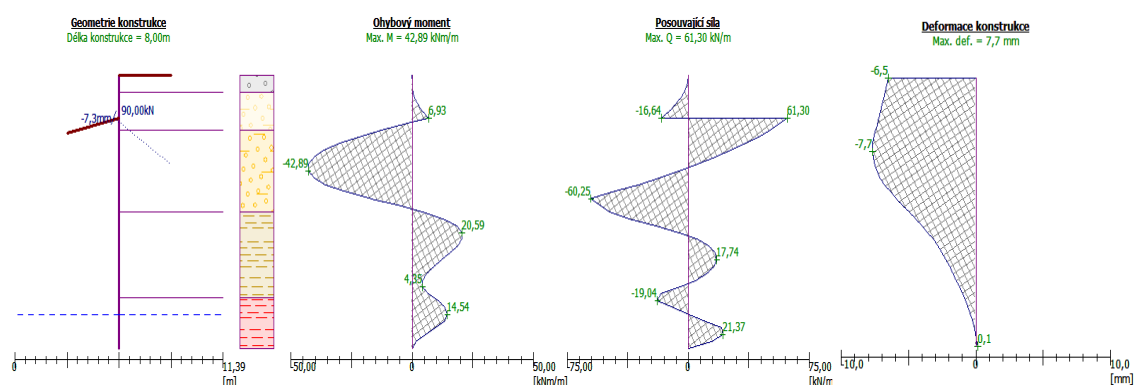
Smyková plocha se nachází v oblasti piloty v hloubce 3,6 m. Rozdělení aktivních a pasivních sil nad smykovou plochou je zvoleno trojúhelníkové. Vypočet je proveden podle všech návrhových přístupů normy EN 1997. Pro zachycení reálného chování konstrukce byly použity výstupy modelů, které nejsou redukovány součiniteli.



Obrázek 37: Výstupy vnitřních sil a vodorovných posunů u nekotvené piloty

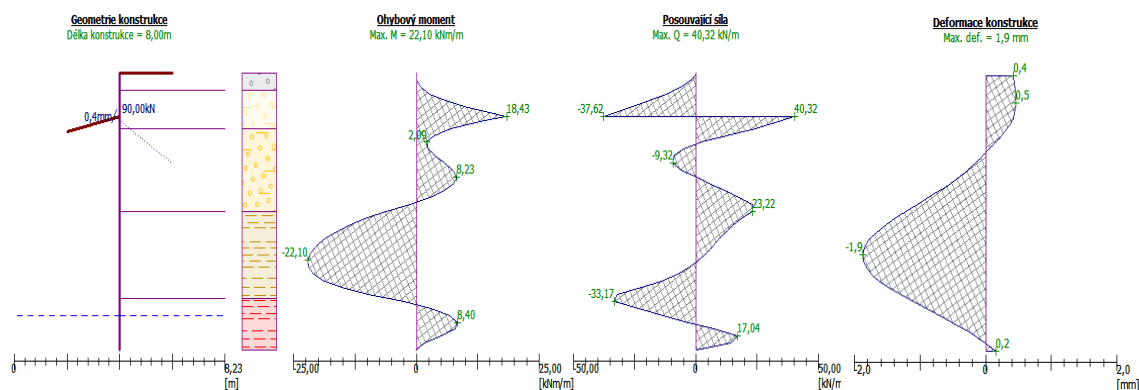
Obrázek č. 37 znázorňuje vnitřní síly u nekotvené piloty, která je zatížena sesuvem síly 138 kN/m. Maximální moment má hodnotu 278 kNm/m a vodorovný posun 176 mm. Ke zvýšení stabilizace piloty je nutné zabudovat kotvící prvek.

Při posouzení kotvené pilotové stěny je vhodné řešit dva návrhové stavy, kdy je pilota zatížena od sesuvu silou 138 kN/m a stav, kdy není pilota namáhána zatížením od sesuvu. V druhém stavu je tedy pilota zatížena předpjatou kotvou, která tlačí pilotu do komunikace.



Obrázek 38: Výstupy vnitřních sil a vodorovných posunů kotvené piloty zatížené sesuvem

Na obrázku č. 38 vidíme průběh vnitřních sil, kdy na kotvenou pilotu působí síla sesuvu. Maximální moment se pohybuje v místě působení smykové plochy a dosahuje hodnoty 42,89kNm/m. Dochází k vodorovným posunům 7,7 mm



Obrázek 39: Výstupy vnitřních sil a vodorovných posunů kotvené piloty

V případě, že je svah stabilní, je pilota namáhána od předepnuté kotvy. Maximální moment působí ve spodní polovině piloty. Nejvyšší hodnota vodorovného posunu je 1,9 mm. (obrázek č. 39)

V tabulce č. 10 jsou uvedeny výsledné hodnoty vnitřních sil a vodorovných posunů jak pro případ bez redukce, tak EN 1997.

Návrhový přístup	typ konstrukce	Namáhání od sesuvu	Maximální posouvající síla (kN)	Maximální moment (kNm)	Maximální vodorovné posuny (mm)
1NP - KOMBINACE 1	Pilota	Ano	140,75	288,84	186,9
	Pilota s kotvou	Ano	61,3	42,89	9,5
		Ne	41,78	22,33	2
1NP - KOMBINACE 2	Pilota	Ano	165,65	307,31	256,7
	Pilota s kotvou	Ano	61,3	42,89	6,2
		Ne	42,02	27,08	9,1
2NP	Pilota	Ano	366,77	331,68	1156,2
	Pilota s kotvou	Ano	66,76	42,89	12,7
		Ne	43,81	19,5	2,4
3NP	Pilota	Ano	165,65	307,31	256,7
	Pilota s kotvou	Ano	61,3	42,89	6,2
		Ne	42,02	27,02	9,1
Neredukováno	Pilota	Ano	138,19	278,19	176,1
	Pilota s kotvou	Ano	61,3	42,89	7,7
		Ne	40,32	22,1	1,9

Tabulka 10: Výstupy vnitřních sil a vodorovných posunů

Největší hodnota vodorovných posunů u nekotvené stěny vychází pro 2NP. Tato hodnota je přibližně 10x vyšší než v 1NP a 3NP. Maximální hodnoty momentů se pohybují kolem hodnoty 300 kNm.

V situaci, kdy na kotvenou pilotu působí síla od sesuvu, jsou hodnoty momentů shodné pro všechny návrhové přístupy (tj. 42,89 kNm). Maximální vodorovné posuny se pohybují do 13 mm.

V případě, kdy na kotvenou pilotu netlačí síla od sesuvu, vychází momenty o polovinu nižší. V 1NP - kombinace 1 a 3NP dosahuje hodnota maximálního momentu 27 kNm. Nejvyšší vodorovný posun má hodnotu 9 mm.

Z výše uvedených rozdílů ve výsledcích je zřejmé, že při redukci vstupních parametrů je vhodné volit obezřetný postup. Při zavedení redukčních součinitelů může vést v některých situacích ke změně chování konstrukce a k chybným výsledkům. 1NP - kombinace 2, 2NP a 3NP zvyšují velikost aktivního tlaku a snižují velikost pasivního tlaku, kdežto 1NP - kombinace 1 jen zvyšuje velikost aktivního tlaku. [33]

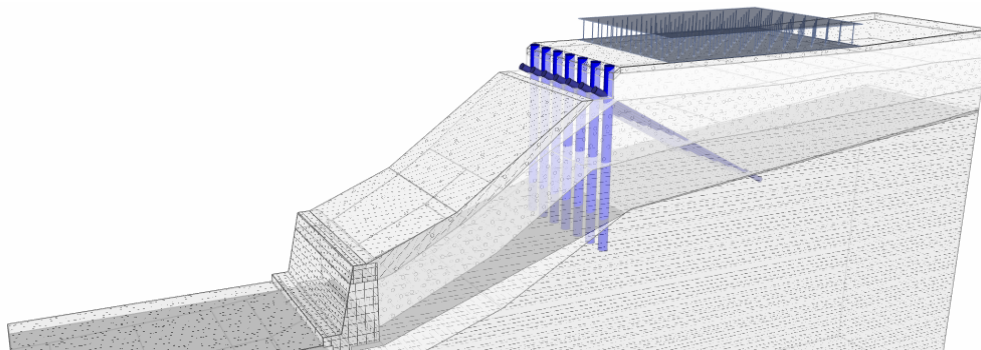
Na základě zjištěných největších vnitřních sil (2NP) je možné nadimenzovat průřez ŽB piloty. Dimenzace byla provedena v modulu GEO5 - Stabilizační pilota.

Hlavní výztuž se skládá ze 6ks  $\varnothing$  20 mm s krytím 40 mm. Smyková výztuž je z profilu  $\varnothing$  16 mm ve vzdálenostech po 200 mm.

- moment únosnosti  $M_{rd}=85,76kNm \geq$  maximální moment  $M_{ed}=42,89kNm$
- posouvající síla únosnosti  $V_{rd}=110,15 kN \geq$  maximální posouvající síla  $V_{ed}=66,76 kN$

Navrhovaný průřez vyhovuje z výsledků programu GEO5, který statický výpočet zpracovává dle EN 1992-2

Na základě nadimenzované a posouzené kotvené pilotové stěny je ověřena stabilita svahu v kritické situaci (2. návrhový stupeň). Stupeň stability vychází metodou Bishop 1,52.



Obrázek 40: Modelová analýza kotvené pilotové stěny

## 11. Závěr

V úvodu se diplomová práce zabývá okrajově charakteristikou svahových pohybů a možnými faktory, které napomáhají zvýšenému pohybu zemin. Dále jsou stručně uvedeny možné metody řešení stability svahu a metody sanace. V rámci zájmové oblasti jsou také popsány možné úpravy břehu koryta, které byly rozděleny na vegetační a nevegetační.

Hlavním úkolem práce bylo posoudit stávající stav svahu v ulici Palackého ve Vsetíně a navrhnout jeho sanaci. V prvním stadiu průzkumu byla provedena prohlídka území, kde byl stanoven rozsah zasažené oblasti. Byly prostudovány archivní materiály, geologické mapy a zprávy o daném území. Následně byla popsána geomorfologická, geologická a hydrogeologická stavba zájmové oblasti.

V dalším stadiu byl geodeticky zaměřen profil, který byl veden od koryta řeky přes úpatí svahu, akumulární zónu až nad odlučnou oblast. Na základě zpracovaných geodetických dat a údajů z geologických vrtů byla provedena modelová analýza současného stavu (stupeň stability svahu nad nábrežní zdí roven 1,3). V kritické situaci, kdy dochází k prosycení zemin, je však svah nestabilní (stupeň stability je roven 0,89, tabulka č. 3). Výpočet byl proveden v programu GEO5 - Stabilita svahu a GEO5 - MKP.

Na základě vyhodnocení modelové analýzy bylo navrženo sanační opatření v podobě kotvené pilotové stěny, která se nachází v horní části svahu. Pilotová stěna byla modelována pro kritickou situaci dle EN 1997. Nepříznivé hodnoty byly dosaženy pro situaci, kdy na nekotvenou pilotu působí síla sesuvu, proto bylo nutné navrhnout kotvící prvek.

Po zabudování kotvícího prvku byly dosaženy přijatelné hodnoty vnitřních sil a vodorovných posunů dle všech návrhových přístupů normy EN 1997.

Byla provedena modelová analýza nábrežní zdi, kde výstupem byly hodnoty stability proti posunutí, překlopení a únosnosti základové spáry. Jelikož se jedná o hřebíkovanou zeď byly posouzeny i jednotlivé hřeby. Z výpočtů dle EN 1997 bylo prokázáno, že zeď je stabilní (tabulka č. 6 a 7) a únosnost jednotlivých hřebů je vyhovující (tabulka č. 8). V případě, že v budoucnu nastanou deformace zdi, bude nutné navrhnout sanační opatření. Výpočet byl proveden s pomocí programu GEO5 - Tížná zeď a GEO5 - Hřebíkový svah.

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval všem, kteří přispěli ke zpracování této diplomové práce. Velké poděkování patří Ing. Barbaře Luňáčkové, Ph.D. za její vstřícnost, cenné rady a připomínky. Dále děkuji Ing. Jaroslavu Ryšávkovi, Ph.D. za konzultace a vstřícnost při řešení problémů.



## 12. Seznam použitých pramenů

- [1] *Přírodní katastrofy a environmentální hazardy: Svahové pohyby* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/~herber/slide.htm>
- [2] *Svahové nestability* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/svahovenestability/pojmy>
- [3] MARSCHALKO, MÜLLEROVÁ a IDEŠ. *Svahové deformace* [online]. VŠB [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/svade/>
- [4] ZÁRUBA, Q. a V. MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Praha: Academia, 1987.
- [5] *Vnější krajínotvorné procesy* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: [http://galerie.gymjil.cz/zahradnik/litosfera/exogenni\\_vnejsi\\_krajínotvorne\\_procesy.htm](http://galerie.gymjil.cz/zahradnik/litosfera/exogenni_vnejsi_krajínotvorne_procesy.htm)
- [6] ŠIMEK, J., J. JESENÁK, J. EICHLER a I. VANÍČEK. *Mechanika zemin*. Praha: SNTL, 1990.
- [7] *Nemeton2015: zemní sesuvy* [online]. 2015 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?42>
- [8] *GEOMAT: Vyztužování zemin* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.geomat.cz/chci-vyresit-problem/zpevneni-svahu/povrchove-zpevneni-svahu/>
- [9] HULLA, Jozef, Peter TURČEK. *Zakladanie staveib*. Bratislava: JAGA. 1998. ISBN 80-88905-05-2
- [10] *MCT: Skládání opěrné stěny* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.mct.cz/soubor/operne-steny/>
- [11] *Úpravy vodních toků* [online]. VŠB [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: [http://hgfl0.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni\\_loticky/upravy\\_vod\\_toku.htm](http://hgfl0.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni_loticky/upravy_vod_toku.htm)
- [12] TURČEK, Peter. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga, 2005, 302 s. Architektura, stavebnictví, bydlení. ISBN 80-807-6023-3.

- [13] *Mikropiloty, kotvy a injektáže* [online]. geobetds [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.geobetds.cz/>
- [14] *Attachment 3: Overview of Engineering Techniques to Reduce Grading* [online]. coastal [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.coastal.ca.gov/landform/attach3.html>
- [15] *Gabiony* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.gabiony.cz/fotogalerie/dle-typu-gabionove-konstrukce/operne-zdi/#!>
- [16] *Sanace svahu v Pozlovicích* [online]. Kozubík [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.kozubikstavebni.cz/sesuv.htm>
- [17] *Horninové kotvy* [online]. Zakládání staveb [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz/cz/horninove-kotvy>
- [18] HAVLÍK, A. *Vodní toky* [online]. ČVUT, 2015-11-21 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke\\_stazeni/Vodni\\_toky.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Vodni_toky.pdf)
- [19] TP2053: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. *Pjpk.cz* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%2053.pdf>
- [20] Nábřežní zeď. *Plzensky-kraj.cz* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.plzensky-kraj.cz/cs/relics.asp?lngPamatka=959025>
- [21] *Návrh opevnění* [online]. ČVUT [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Toky/Predmety/VTO/ke\\_stazeni/prednasky/6/6\\_2.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Toky/Predmety/VTO/ke_stazeni/prednasky/6/6_2.pdf)
- [22] VÁCLAVÍK, V. *Voda a životní prostředí Moravskoslezského kraje 2011 (2. díl)* [online]. Ostrava, 2011, VŠB [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: [http://rccv.vsb.cz/mostech/voda/data/MOST-TECH\\_V%C3%BDukov%C3%A9\\_texty\\_\(2.d%C3%ADl\).pdf](http://rccv.vsb.cz/mostech/voda/data/MOST-TECH_V%C3%BDukov%C3%A9_texty_(2.d%C3%ADl).pdf)
- [23] *Typy opatření pro návrh stabilizace* [online]. ČVUT [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Toky/Predmety/PVH1/PROJEKT%20CHOMUTOVKA%202015/fotoSkrle/opatreni.htm>

- [24] GRYGAR, R. a J. JELÍNEK. *Regionální geomorfologické členění České Republiky* [online]. VŠB, [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/Prednasky/14\\_kapitola.htm](http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/Prednasky/14_kapitola.htm)
- [25] Vsetínské vrchy. *Moravske-karpaty.cz* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geomorfologie/vsetinske-vrchy/>
- [26] *Priroda-valasska.cz* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.priroda-valasska.cz/>
- [27] MARSCHALKO, M. a R. GRYGAR. *Geologie* [online]. VŠB, [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/11\\_REGION%C3%81LN%C3%8D\\_GEO/11\\_regionalka.htm](http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/11_REGION%C3%81LN%C3%8D_GEO/11_regionalka.htm)
- [28] GRYGAR, R. *Regionální geologie ČR* [online]. VŠB [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/reg\\_geol\\_cr/1\\_kapitola.htm](http://geologie.vsb.cz/reg_geol_cr/1_kapitola.htm)
- [29] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *Geology.cz* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/pasport/viewdbs.pl?db=83>
- [30] Mapa zájmové oblasti. *Google* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>
- [31] *Mapy.geology.cz* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=4>
- [32] Povodí Morava. *Technická zpráva: Oprava pravobřežní zdi řeky Bečvy*. Vsetín, 1989.
- [33] Výpočet pažicích konstrukcí. *Fine.cz* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/vypocet-pazicich-konstrukci-01/>

## 13. Seznam obrázků

Obrázek 1: Jednotlivé svahové pohyby - ploužení, sesouvání, stékání, řícení [5].....	3
Obrázek 2: Porušení stability po kruhové smykové ploše [6] .....	8
Obrázek 3: Zemní lavice a stabilizační přísypy [7].....	12
Obrázek 4: Odvodnění svahu vrty [15] .....	14
Obrázek 5: Sanace pomocí vyztužené zeminy [8] .....	16
Obrázek 6: Gabionové konstrukce [15].....	17
Obrázek 7: Betonování pilot [16].....	18
Obrázek 8: Výztuž betonového trámce s kotvami [16] .....	18
Obrázek 9: Schéma hřebíkování [17] .....	19
Obrázek 10: Vysazený osev na břehu [23] .....	21
Obrázek 11: Schéma haťové povázky [23].....	22
Obrázek 12: Zápleťový plůtek [23] .....	23
Obrázek 13: Kamenná rovinanina [18].....	25
Obrázek 14: Pohled na nábrežní zeď v Plzni [20].....	26
Obrázek 15: Latový plůtek [18].....	27
Obrázek 16: Drátokamenné matrace [23].....	28
Obrázek 17: Haťoštěrkový válec [23] .....	29
Obrázek 18: Oblast Vsetínských vrchů [25, úprava autor].....	31
Obrázek 19: Schéma regionálního geologického členění Západních Karpat[25, úprava a.]....	32
Obrázek 20: Mapa svahových nestabilit [31, úprava autor] .....	35
Obrázek 21: Pohled na zájmovou oblast [autor] .....	37
Obrázek 22: Zájmová oblast [30, úprava autor].....	37
Obrázek 23: Deformace chodníku [autor] .....	38
Obrázek 24: Pohled na nábrežní zeď [autor] .....	39
Obrázek 25: Schéma provedení nábrežní zdi [32, úprava autor] .....	39
Obrázek 26: Naměřený profil v zájmové oblasti [30, úprava autor].....	40

Obrázek 27: Vrtná prozkoumatelnost Geofond [31] .....	41
Obrázek 28 Schématický geologický řez .....	42
Obrázek 29:Smyková plocha pro běžný stav .....	44
Obrázek 30: Plastické přetvoření - běžný stav .....	44
Obrázek 31: Svislé posuny (mm) - běžný stav .....	45
Obrázek 32: Vodorovné posuny (mm) - běžný stav.....	45
Obrázek 33: Smyková plocha - kritický stav .....	46
Obrázek 34: Zed' bez hřebů .....	47
Obrázek 35: Zed' s hřeby .....	48
Obrázek 36: Schéma pilotové stěny v situaci .....	50
Obrázek 37: Výstupy vnitřních sil a vodorovných posunů u nekotvené piloty .....	52
Obrázek 38: Výstupy vnitřních sil a vodorovných posunů kotvené piloty zatížené sesuvem..	52
Obrázek 39: Výstupy vnitřních sil a vodorovných posunů kotvené piloty .....	53
Obrázek 40: Modelová analýza kotvené pilotové stěny .....	54

## 14. Seznam tabulek

Tabulka 1: Geomorfologické rozdělení .....	30
Tabulka 2: Parametry zemin .....	42
Tabulka 3: Přehled stupňů stability stávajícího stavu .....	46
Tabulka 4: Výstupy - zeď bez hřebů pro běžnou situaci .....	47
Tabulka 5: Výstupy - zeď bez hřebů pro kritickou situaci .....	48
Tabulka 6: Výstupy - zeď s hřeby pro běžnou situaci .....	48
Tabulka 7: Výstupy - zeď s hřeby pro kritickou situaci .....	49
Tabulka 8: Výstupy - únosnost hřebů .....	49
Tabulka 9: Vstupní parametry piloty a kotvy .....	51
Tabulka 10: Výstupy vnitřních sil a vodorovných posunů .....	53

## 15. Seznam rovnic

Rovnice 1: Výpočet stupně stability .....	7
Rovnice 2: Řešení smykové pevnosti s totálními parametry $\varphi_u, c_u$ .....	7
Rovnice 3: Řešení smykové pevnosti s ef. parametry $\varphi_{ef}, c_{ef}$ a pórovým tlakem $u$ .....	7
Rovnice 4: Řešení smykové pevnosti s ef. parametry $\varphi_{ef}, c_{ef}$ a proudovým tlakem $p_v$ .....	8
Rovnice 5: Výpočet stupně stability metodou Petterson .....	9
Rovnice 6: Výpočet stupně stability metodou Bishop .....	9

### Příloha č. 1 – Podrobná situace zájmového území 1:400

